



TUGAS AKHIR – RE 141581

**PREDIKSI PENCEMARAN AIR KALI SURABAYA SEGMENT
KARANGPILANG-NGAGEL DENGAN MODEL STELLA
(*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with
Animation*)**

*Prediction of Water Pollution in Kali Surabaya River Segment
Karangpilang-Ngagel using Stella Model*

FEBRIANDITA ASHARI PUTRI

03211440000044

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RE 141581

**PREDIKSI PENCEMARAN AIR KALI SURABAYA SEGMENT
KARANGPILANG-NGAGEL DENGAN MODEL STELLA
(*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with
Animation*)**

*Prediction of Water Pollution in Kali Surabaya River Segment
Karangpilang-Ngagel using Stella Model*

FEBRIANDITA ASHARI PUTRI

03211440000044

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PREDIKSI PENCEMARAN AIR KALI SURABAYA SEGMENT
KARANGPILANG-NGAGEL DENGAN MODEL STELLA
(*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with
Animation*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FEBRIANDITA ASHARI PUTRI
NRP. 0321144000044

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc
19550128 198503 2 001



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “PREDIKSI PENCEMARAN AIR KALI SURABAYA SEGMENT KARANGPILANG-NGAGEL DENGAN MODEL STELLA (*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation*)”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Ibu Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Bapak Dr. Ali Masduqi ST., MT., Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes, Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD selaku dosen pengarah tugas akhir saya, terima kasih atas ilmu, saran serta bimbingannya.
3. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.

Terutama penulis ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya Bapak Djoko Kusriyanto dan Ibu Sri Mujiati beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir ini.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

PREDIKSI PENCEMARAN AIR KALI SURABAYA SEGMENT KARANGPILANG-NGAGEL DENGAN MODEL STELLA

Nama Mahasiswa : Febriandita Ashari Putri
NRP : 03211440000044
Departemen : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem,
M.Sc.

ABSTRAK

Kali Surabaya merupakan salah satu sungai yang dijadikan sumber air baku oleh PDAM Kota Surabaya. Selain itu, keberadaan Kali Surabaya sangat penting bagi keberlangsungan hidup bagi masyarakat, industri, pertanian dan niaga di sekitaran bantaran kali. Peningkatan pembuangan limbah industri maupun limbah domestik dapat menurunkan kualitas air Kali Surabaya. Dari parameter DO, BOD dan COD yang ada di Kali Surabaya dapat dicari hubungan dan saling keterikatan untuk menentukan kelas badan air pada Kali Surabaya. Metode yang digunakan adalah menggunakan metode *system dynamics* dengan Model Stella. Adapun tujuan dari pemodelan ini adalah untuk mengidentifikasi serta mencari hubungan dari nilai DO, BOD, dan COD yang terdapat di Kali Surabaya Segment Karangpilang– Ngagel Surabaya, serta menentukan kelas badan air Kali Surabaya pada Segment Karangpilang– Ngagel dengan metode sistem dinamis.

Dalam pemodelan ini akan digunakan Stella untuk mengetahui keterkaitan antar parameter yang berada di air sungai. Metode yang digunakan dengan cara mengumpulkan data sekunder dan data primer lalu membuat formulasi model setelah itu dimodelkan menggunakan stella dengan cara dikalibrasi dan validasi lalu dilakukan simulasi.

Hasil dari pemodelan ini adalah prediksi dari parameter DO untuk tahun 2018 di ketiga segmen mengalami penurunan Pada bulan Desember tahun 2018 diketahui konsentrasi DO di

segmen 1 sebesar 3,79 mg/L segmen 2 sebesar 4,34 mg/L dan segmen 3 sebesar 3,72mg/L. Menurut hasil prediksi dari model ini nilai DO di seluruh segmen pada bulan Nopember dan Desember masih melebihi baku mutu sungai kelas II yaitu sebesar 4 mg/L. Sedangkan pada bulan Januari hingga Oktober pada seluruh segmen memenuhi baku mutu DO air sungai kelas II. DO Kali Surabaya pada tahun 2018 berkisar antara 3,72-4,9 mg/L

Kata Kunci: BOD, COD, DO, Kali Surabaya, Stella.

PREDICTION OF WATER POLLUTION IN KALI SURABAYA RIVER SEGMENT KARANGPILANG-NGAGEL USING STELLA MODEL

Name : Febriandita Ashari Putri
Student Number : 03211440000044
Department : Teknik Lingkungan
Mentor Lecture : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

ABSTRACT

Kali Surabaya river is one of the river in Surabaya that use as the water source of PDAM Surabaya. Moreover, Kali Surabaya river takes an important role of society, industry, agriculture and economic commerce in its surrounding area. The increasing of industry and domestic waste that dispose to Kali Surabaya river, causing the degradation of its water quality. From parameters DO, BOD, and COD of Kali Surabaya river, we can look for relation and mutual attachment to determine the class of water body of Kali Surabaya. The method that use in this case is *system dynamics* using Stella Model. The purpose of this modelling is to identify and determine the relation of DO, BOD and COD value that contains in Kali Surabaya river segment Karangpilang-Ngagel Surabaya, and to determine the class of water body of Kali Surabaya river segment Karangpilang-Ngagel using dynamic system method.

In this modelling, Stella will be used to find out the inter-relation between parameters that contained in Kali Surabaya water. The steps of this method is collecting primary and secondary data, then making the formulation model. Next is modelling the data from formulation model using Stella by calibrate and validating the data, and then doing the simulation of the model.

The result of this modelling is prediction of DO parameter value that decreasing in 2018 at all three segments. In December 2018, concentration of DO in segment 1 is 3,79 mg/L; in segment 2 is 4,34 mg/L and in segment 3 is 3,72 mg/L. According to the prediction result from this model, DO value at all segments in November and December is still exceed the standard value of class II river standard, which is 4 mg/L. In the other hand, in January until October DO value at all segments is under the standard of class II river standard. The average DO value of Kali Surabaya river in 2018 is in the range of 3,72-4,9 mg/L.

Key word: BOD, COD, DO, Kali Surabaya river, Stella.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4Manfaat	3
1.5Ruang Lingkup	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya	5
2.2 Gambaran Umum Kali Surabaya	5
2.3 Daerah Aliran Sungai	6
2.4 Pencemaran Air.....	6
2.5 Perhitungan Debit Sungai atau Saluran Air	7
2.6 Parameter Kualitas Air	8
2.7 Klasifikasi Kelas Mutu Air	12
2.8 Indeks Pencemaran	12
2.9 Model Sistem Dinamik.....	14
2.10 STELLA	18

2.11 Kajian Terdahulu.....	23
BAB 3.....	25
METODE PENELITIAN	25
3.1 Umum	25
3.2 Kerangka Penelitian.....	25
3.2.1 Ide Penelitian	25
3.2.2 Studi Literatur	28
3.2.3 Penentuan Lokasi Penelitian	28
3.2.4 Pengumpulan Data	30
3.2.5 Pengujian Kualitas Air	30
3.2.5.1 Pengambilan Sampel	30
3.2.5.2 Alat Pengambilan Sampel dan Wadah Sampel	31
3.2.5.3 Pengawetan Sampel	31
3.2.5.4 Uji Kualitas Air	31
3.2.6 Pemodelan <i>STELLA</i>	32
3.2.7 Kesimpulan dan Saran	32
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Observasi Lapangan.....	35
4.2 Segmentasi Sungai.....	35
4.3 Kondisi Kali Surabaya.....	37
4.3.1 Kondisi Eksisting Perairan Kali Surabaya	37
4.3.2 Suhu Air	37
4.3.3 Derajat Keasaman (pH)	39
4.3.4 Dissolved Oxygen (DO)	41
4.3.5 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	43

4.3.6 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	44
4.3.7 Kondisi Hidrolis Kali Surabaya	45
4.3.8 Kondisi Debit Kali Surabaya.....	47
4.3.9 Kondisi Kualitas Air Kali Surabaya Tahun 2017.....	48
4.3.10 Kondisi Kualitas Sumber Pencemar.....	51
4.3.11 Penggunaan Air Kali Surabaya	53
4.4 Pembentukan Model	54
4.4.1 <i>Causal Loop</i>	55
4.4.2 Struktur Model	56
4.5 Running Model	59
4.5.1 Verifikasi Satuan, Model dan persamaan	59
4.5.2 Validasi Model	67
4.6 Simulasi	70
4.7 Prediksi 1 Tahun Kedepan	77
4.8 Upaya Pengendalian Pencemaran	79
4.8.1 Penentuan Status Mutu Air dengan IP	79
BAB V	83
KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1Kesimpulan.....	83
5.2 Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN A.....	91
LAMPIRAN B.....	96
LAMPIRAN C.....	115
LAMPIRAN D.....	122
LAMPIRAN E.....	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Alir Program STELLA.....	21
Gambar 2. 2 Lingkaran Kausal dalam Sistem Dinamik	21
Gambar 2. 3 Causal Loop Parameter BOD, COD dan DO ...	22
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	27
Gambar 3. 2 Letak Titik Sampling	33
Gambar 3. 3 Titik Pengambilan Sampel.....	30
Gambar 4. 1 Segmen Karangpilang – Sepanjang.....	36
Gambar 4. 2 Segmen Sepanjang – Gunung Sari.....	36
Gambar 4. 3 Segmen Gunung Sari - Ngagel	37
Gambar 4. 4 Pengukuran Suhu Kali Surabaya	38
Gambar 4. 5 Pengukuran pH Kali Surabaya	40
Gambar 4. 6 Pengukuran DO Kali Surabaya	42
Gambar 4. 7 Pengukuran BOD Kali Surabaya	43
Gambar 4. 8 Pengukuran COD Kali Surabaya.....	45
Gambar 4. 9 Pengukuran debit dengan (mid section).....	46
Gambar 4. 10 Pengukuran Debit Rata-Rata Kali Surabaya..	48
Gambar 4. 11 Kualitas Kali Surabaya titik Karangpilang.....	49
Gambar 4. 12 Kualitas Kali Surabaya titik Sepanjang.....	49
Gambar 4. 13 Kualitas Kali Surabaya titik Gunungsari	50
Gambar 4. 14 Kualitas Kali Surabaya titik Ngagel	51
Gambar 4. 15 Diagram causal loop	55
Gambar 4. 16 Hubungan DO dan BOD	58
Gambar 4. 17 Struktur Model COD	60
Gambar 4. 18 Struktur Model DO dan BOD	61
Gambar 4. 19 Menu Toolbar Verifikasi Unit.....	62
Gambar 4. 20 Hasil Verifikasi Unit.....	62
Gambar 4. 21 Model Diagnostic Options.....	63
Gambar 4. 22 Pilihan Verify Model	63
Gambar 4. 23 Proses Verifikasi Model	64
Gambar 4. 24 Hasil Verifikasi Model	64
Gambar 4. 25 Struktur Model	65
Gambar 4. 26 Validasi Model	67
Gambar 4. 27 Simulasi Parameter DO.....	70
Gambar 4. 28 Simulasi Parameter BOD	72
Gambar 4. 29 Simulasi Parameter COD	72

Gambar 4. 30 Simulasi Pada Segmen 1	73
Gambar 4. 31 Simulasi Pada Segmen 2.....	74
Gambar 4. 32 Simulasi Pada Segmen 3.....	75
Gambar 4. 33 Model Prediksi DO tahun 2018	77
Gambar 4. 34 Skenario 1 Segmen 1	80
Gambar 4. 35 Skenario 1 Segmen 3.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol Alat Penyusun Model STELLA	19
Tabel 2.2 Elemen Fisik dalam STELLA	20
Tabel 2.3 Rancangan Formulasi Model.....	23
Tabel 3.1 Pembagian Segmen	28
Tabel 3. 2 Lokasi Titik Sampling.....	29
Tabel 3.3 Data Panjang per Segmen Kali Surabaya.....	29
Tabel 3.4 Data Koordinat Segmen Kali Surabaya.....	29
Tabel 3.5 Cara Pengawetan Sampel.....	34
Tabel 3.6 SNI untuk pengujian setiap parameter	31
Tabel 4. 1 Pembagian Segmen Kali Surabaya	35
Tabel 4. 2 Luas Penampang Basah Tiap Titik	47
Tabel 4. 3 Kondisi Hidrolis Kali Surabaya	47
Tabel 4. 4 Kualitas air limbah pencemar point source	52
Tabel 4. 5 Data penggunaan air Kali Surabaya	53
Tabel 4. 6 MAPE DO Segmen 1 Tahun 2017	68
Tabel 4. 7 MAPE DO Segmen 2 Tahun 2017	69
Tabel 4. 8 MAPE DO Segmen 3 Tahun 2017	70
Tabel 4. 9 Prediksi DO Kali Surabaya Tahun 2018.....	78
Tabel 4. 10 Nilai Satatus Mutu Kali Surabaya	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan kota pemerintahan Provinsi Jawa Timur yang padat dengan berbagai aktivitas. Kegiatan domestik, pemerintahan maupun industri, terjadi secara bersamaan. Setiap kegiatan tersebut memerlukan air sebagai sarana pendukungnya. Disisi lain, air baku untuk air minum Kota Surabaya diperoleh dari air permukaan (badan air) yang mengalir di Kota Surabaya. Kali Surabaya merupakan salah satu sungai yang dijadikan sumber air baku oleh PDAM Kota Surabaya. Untuk itu, pengendalian kualitas air perlu dilakukan untuk menjaga Kali Surabaya tetap memenuhi baku mutu.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan beberapa kajian mengenai pencemaran air dan pengendalian beban pencemaran air yang terjadi di Kali Surabaya . Tingginya tingkat pencemaran tidak lepas dari lemahnya mekanisme pengendalian pencemaran. Pencemaran yang masuk pada Kali Surabaya meliputi industri, domestik dan pertanian. Limbah domestik sebagai penyumbang pencemar terbesar pada air Kali Surabaya. Faizal dan Desy (2015) menyatakan bahwa limbah domestik menyumbang 65% pencemaran daripada industri 30% sisanya limbah pertanian. Industri banyak disumbang oleh industri rumahan dari kawasan Mlirip Mojokerto hingga Karangpilang Surabaya yang belum memiliki instalasi pengolahan air limbah. Penyebab pencemaran dari sumber komersial antara lain berasal dari limbah rumah makan dan hotel (17,8%) industri manufaktur (20%) dan kegiatan lainnya (Thornton. 2001)

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur, maka harus dilakukan upaya pengelolaan air limbah sebelum dibuang ke Badan Air Kali Surabaya. Pengendalian pencemaran air di Kali Surabaya telah dilakukan sebagai salah satu upaya agar pencemaran air tidak melampaui baku mutu air kelas II menurut Peraturan Gubernur No.61 tahun 2010.

Model statis memberikan informasi tentang perubahan model hanya pada titik tunggal dari waktu (Eriyanto, 2013). Model statis tidak memperhitungkan waktu yang selalu berubah. Sistem merupakan kombinasi dari bagian-bagian yang membentuk sebuah kesatuan yang kompleks (Eriyanto, 2013). Oleh karena itu diperlukan model dinamis yang dapat memberikan gambaran nilai berubah terhadap perubahan waktu.

Pemodelan *system dynamics* merupakan salah satu model untuk menentukan status mutu air yang digunakan untuk memodelkan kualitas air. Dasar metodologi *system dynamics* adalah analisis sistem. Suatu sistem diartikan sebagai seperangkat elemen yang saling berinteraksi satu sama lain. Suatu sistem dapat terdiri atas beberapa sub-sistem dimana definisi sistem juga berlaku di dalamnya. Struktur sistem ditentukan oleh hubungan antara elemen-elemennya. Batas sistem (*system boundary*) akan memisahkan sistem dari lingkungannya. Sistem dinamik ingin memberikan pemahaman yang baik dan meramalkan berbagai kemungkinann yang akan terjadi pada berbagai sistem. Salah satu model dari sistem dinamis adalah STELLA (*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation*). Kelebihan model dapat digunakan sebagai sarana simulasi, sehingga dengan model dapat diperkirakan, memprediksi dan mempelajari berbagai kemungkinan yang dapat terjadi jika berbagai skenario diaplikasikan dalam model.

System Dinamics digunakan untuk melihat hubungan sebab akibat (*causa loops*) yang saling berinteraksi dan menghasilkan dinamika tertentu. (Darmo 2005). Parameter yang akan digunakan antara lain BOD, COD serta mengukur pula DO. Dari *system dinamis* ini dapat diperoleh upaya pengendalian pencemaran Kali Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Kali Surabaya saat ini tercemar, diketahui karena kualitas air sungai sudah melebihi baku mutu untuk sungai kelas II. Pemantauan baku mutu telah dilakukan, namun belum ada kajian yang lebih lanjut tentang hubungan dari nilai DO, BOD, dan COD di Kali Surabaya dengan menggunakan sistem

dinamis. Dari parameter DO, BOD, dan COD yang ada di Kali Surabaya dapat dicari hubungan dan saling keterikatannya untuk menentukan prediksi dari Kali Surabaya untuk kemudian menentukan kelas badan air Kali Surabaya. Metode yang digunakan adalah menggunakan metode *System Dinamics* dengan Model Stella, yang mana metode tersebut akan digunakan untuk memperoleh upaya pengendaliannya.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai dari DO, BOD, dan COD di Kali Surabaya pada segmen Karang Pilang – Ngagel dengan sistem dinamis menggunakan metode Stella.
2. Menentukan prediksi DO Kali Surabaya pada segmen Karang Pilang – Ngagel.
3. Menentukan upaya pengendalian kualitas air Kali Surabaya

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang DO, BOD, dan COD yang terdapat pada air Kali Surabaya pada segmen Karangpilang – Ngagel.
2. Memberikan informasi yang digunakan untuk pengelolaan melalui upaya pengendalian air Kali Surabaya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah studi meliputi Kali Surabaya dari titik awal di daerah Karangpilang (sebagai Hulu) dan diakhiri di daerah Ngagel (sebagai Hilir) dengan panjang total segmen 9,66 km.
2. Data yang diperlukan adalah dengan mengambil data primer sampel air sungai di tiga segmen secara periodik.
3. Pengambilan sampel dimulai dari titik awal di daerah Karangpilang (sebagai Hulu) dan diakhiri di daerah Ngagel (sebagai Hilir).

4. Waktu pengambilan sampel dilakukan tiga kali pada bulan Maret 2018.
5. Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi DO, BOD, COD, pH, temperatur dan kecepatan.
6. Penentuan kelas badan air Kali Surabaya menggunakan metode *system dynamics*.
7. Analisa uji sampel air dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan FTSLK-ITS, Surabaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya

Surabaya merupakan kota metropolitan yang berada di Jawa Timur dengan luas $\pm 32,637.06$ ha, dengan kedudukan geografis pada $07^{\circ}12'$ - $07^{\circ}21'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}36'$ - $11^{\circ}54'$ Bujur Timur. Batas-batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

- Batas Timur : Selat Madura
- Batas Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Batas Barat : Kabupaten Gresik
- Batas Utara : Selat Madura

Kota Surabaya memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Temperatur Kota Surabaya rata-rata 25°C - 30°C dengan kelembaban antara 42%-97% tekanan udara rata-rata antara 1005,2-1013,9 milibar. Rata-rata curah hujan berkisar antara 120-190 mm/tahun. (RPJMD Kota Surabaya, 2010).

Secara geografis, Surabaya berada pada hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang akan bermuara pada Selat Madura. Sungai-sungai yang melewati Surabaya yaitu Kali Surabaya, Kalimas dan Kali Jagir.

2.2 Gambaran Umum Kali Surabaya

Kali Surabaya merupakan sungai utama di Surabaya bersama dengan Kali Mas dan Kali Wonokromo yang merupakan DAS Brantas. Kali Surabaya merupakan anak kali Brantas yang terbentang sepanjang 41 km mulai dari DAM Mlirip hingga DAM Jagir. Kali Surabaya memiliki fungsi sebagai air baku untuk minum (PDAM) masyarakat. Sedangkan Kali Mas dan Kali Wonokromo diperuntukkan untuk drainase kota, kegiatan perikanan, peternakan, serta pariwisata air (Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2011)

Kali Surabaya mempunyai profil memanjang dan profil melintang yang bervariasi, bagian Driyorejo hingga Jagir

memiliki lebar sungai yang bervariasi antara 50 sampai 60 m. Kedalaman Kali Surabaya adalah 3,5 hingga 7 m. (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 2008).

2.3 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai adalah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi untuk menampung, menyimpan serta mengalirkan secara alami air yang berasal dari hujan ke danau atau ke laut . Daerah aliran sungai yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas laut sampai dengan daerah perairan yang masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan. (UU No 7 Tahun 2004)

2.4 Pencemaran Air

Pencemaran air adalah melampauinya suatu kualitas air terhadap baku mutu air limbah yang telah ditetapkan dikarenakan masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, atau komponen lain oleh kegiatan manusia. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 tahun 2010 Pengendalian Pencemaran air adalah upaya untuk menanggulangi pencemaran air dan pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu. Kegiatan pengendalian dapat melalui inventarisasi sumber pencemar air, antara lain sebagai berikut:

2.4.1 Sumber Tertentu (*Point Sources*)

Sumber-sumber pencemar air secara geografis dapat ditentukan lokasinya dengan tepat. Jumlah limbah yang dibuang dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan pengukuran langsung, perhitungan neraca massa, dan estimasi lainnya. Sumber pencemar air yang berasal dari sumber tertentu antara lain seperti kegiatan industri dan pembuangan limbah domestik terpadu. Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan dan dihasilkan pada tingkat kegiatan melalui pengukuran langsung dari efluen dan perpindahannya atau melalui penggunaan metode untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air. Data yang dibutuhkan untuk inventarisasi sumber tertentu antara lain:

- a. Klasifikasi jenis penghasil limbah, seperti kategori jenis usaha atau kegiatan.
- b. Data pencemar spesifik yang dibuang, misalnya jumlah beban pencemar yang terukur atau perkiraan yang dibuang ke air dalam satuan massa per unit waktu.
- c. Informasi lokasi dan jenis pencemar khusus yang dibuang, misalnya jenis industri tertentu di suatu daerah menghasilkan beberapa jenis pencemar spesifik.

2.4.2 Sumber Tak Tentu (*Area/ Diffuse Sources*)

Sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, permukiman, dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah. Sumber pencemar air tak tentu atau *diffuse sources* biasanya berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan industri kecil menengah, dan kegiatan domestik atau penggunaan barang-barang konsumsi. Sumber-sumber pencemar air ini umumnya terdiri dari gabungan beberapa kegiatan kecil atau individual yang berpotensi menghasilkan air limbah yang dalam kegiatan inventarisasi sumber pencemar air tidak dapat dikelompokkan sebagai sumber tertentu.

2.5 Perhitungan Debit Sungai atau Saluran Air

Menurut SNI 8066 (2015) pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan dengan alat ukur pelampung. Ketentuan pelaksanaan pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung adalah sebagai berikut:

- a) Menggunakan jenis pelampung permukaan atau pelampung yang sebagian tenggelam di dalam aliran dan tergantung pada bahan yang tersedia dan kondisi aliran.
- b) Lintasan pelampung harus mudah diamati, jika perlu pelampung diberi tanda khusus terutama untuk pengukuran debit pada malam hari.

- c) Pengukuran kecepatan aliran harus dipilih pada bagian alur yang lurus dan memenuhi salah satu syarat berikut:
 - bagian alur yang lurus paling sedikit tiga kali lebar aliran, atau
 - lintasan pelampung pada bagian alur yang lurus paling sedikit memerlukan waktu tempuh lintasan 40 detik.
- d) Adanya fasilitas untuk melemparkan pelampung, misalnya jembatan.
- e) Lintasan pelampung paling sedikit mencakup tiga titik dan di setiap titik lintasan paling sedikit dilakukan dua kali pengukuran.

Menurut ISO:748 (2007) terdapat beberapa macam pelampung yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran salah satunya adalah pelampung *double floats*. Pelampung ini memiliki 2 bagian yaitu bagian yang dipermukaan dan bagian yang tenggelam. Pengukuran kecepatan dengan menggunakan pelampung dapat dikalikan dengan koefisien. Koefisien didapatkan melalui perbandingan dengan pengukuran *current meter*. Pada pelampung *double floats* dimana tidak dimungkinkan untuk mengecek koefisien secara langsung maka dapat digunakan koefisien sebesar 1 (untuk bagian *subsurface* pada 0,6 kedalaman) dan koefisien sebesar 0,96 (untuk bagian *subsurface* pada 0,5 kedalaman)

2.6 Parameter Kualitas Air

Dalam mengidentifikasi kualitas air sungai terdapat parameter fisik dan parameter kimia yang penting untuk diketahui. Parameter fisik yaitu suhu sedangkan parameter kimia yaitu pH, BOD, COD dan DO. Parameter tersebut akan dianalisis menggunakan metode dan peralatan yang sesuai dengan pengujian pada masing-masing parameter.

a. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah suatu nilai yang menunjukkan kebutuhan oksigen untuk mendegradasi zat organik secara biokimia. Nilai BOD juga menunjukkan kandungan parameter organik *biodegradable* dalam air yang diukur menggunakan metode *winkler* dengan prinsip titrasi iodometri.

Kandungan BOD dalam air ditentukan berdasarkan selisih oksigen terlarut sebelum dan sesudah pengeringan selama 5 x 24 jam pada suhu 20°C. BOD digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran dalam suatu perairan. Nilai BOD suatu perairan tinggi menunjukkan bahwa perairan tersebut sudah tercemar (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

BOD adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf, 1991). Dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi bisa juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Pada praktiknya, pengukuran BOD memerlukan kecermatan tertentu mengingat kondisi sampel atau perairan yang sangat bervariasi, sehingga kemungkinan diperlukan penetralan pH, pengenceran, aerasi, atau penambahan populasi bakteri. Pengenceran dan atau aerasi diperlukan agar masih cukup tersisa oksigen pada hari kelima. Zoko (2011) menyatakan bahwa dalam kondisi perairan yang nilai BODnya masih dalam nilai ambang batas (NAB) dari baku mutu air, belum juga dapat dikatakan bahwa perairan itu belum tercemar. Meskipun ada kelemahan tersebut, BOD tetap digunakan sampai sekarang. Hal ini menurut Metcalf (1991) terjadi karena beberapa alasan, terutama dalam hubungannya dengan pengolahan air limbah, yaitu:

- a. BOD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada.
- b. Untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah.
- c. Untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah.
- d. Untuk mengetahui kesesuaian dengan baku mutu air limbah.

Selain itu dengan melakukan uji BOD dengan tidak memperhatikan ada tidaknya kandungan bahan toksik, sedikit atau banyaknya kandungan bakteri, tetapi dengan tetap melakukan pengenceran atau aerasi bila diperlukan dan

inkubasi pada suhu setara suhu perairan, maka akan diperoleh suatu nilai BOD yang akan memberikan gambaran kemampuan alami perairan dalam mendegradasi bahan organik yang dikandungnya. Dari nilai tersebut akan dapat dilihat apakah kemampuan perairan dalam mendegradasi bahan organik masih cukup baik atau tidak. Bila tidak cukup baik, berarti kemampuan pulih diri (*self purification*) perairan sudah sangat berkurang.

b. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan nilai kebutuhan oksigen untuk oksidasi bahan organik secara kimiawi. Bahan organik yang terukur dalam analisa COD adalah organik *biodegradable* dan non *biodegradable*. Hal ini disebabkan karena pada analisa COD digunakan oksidator kuat kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam dengan bantuan katalisator perak nitrat ($AgNO_3$).

Parameter COD merupakan indikator pencemaran air. Semakin tinggi nilai COD dalam air maka semakin tercemar badan air tersebut. Hal ini disebabkan semakin tinggi kebutuhan oksigen dalam air untuk melakukan proses *self purification*. Nilai COD sendiri diukur juga dengan nilai BOD yang menyatakan kebutuhan oksigen untuk proses degradasi secara biokimia (Agustira, dkk., 2013).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. COD menyatakan banyaknya O_2 yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik yang terkandung di dalam substrat pada zona aerob dan reaksi fermentasi pada zona anaerob sehingga terurai menjadi CO_2 dan H_2O . Nilai COD dianggap sebagai indikator pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair industri.

c. DO (Dissolved Oxygen)

Parameter DO atau oksigen terlarut menunjukkan jumlah oksigen yang terlarut dalam air. Kandungan DO

merupakan hal yang penting bagi kelangsungan organisme perairan, sehingga penentuan kadar DO dalam air dapat dijadikan ukuran untuk menentukan mutu air. Oksigen yang terlarut dalam air diperlukan organisme perairan untuk respirasi dan metabolisme sehingga oksigen terlarut menjadi sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme perairan. Oksigen terlarut juga dibutuhkan oleh bakteri dalam proses penguraian untuk mendegradasi beban masukan yang berupa bahan organik. Semakin tinggi kandungan bahan organik dalam perairan maka kebutuhan oksigen terlarut dalam proses dekomposisi oleh bakteri juga semakin meningkat sehingga akan menurunkan kandungan oksigen terlarut dalam perairan (Suwari dan Rozari, 2011).

Kelarutan oksigen menentukan kualitas perairan. Perairan dengan tingkat pencemaran rendah umumnya memiliki kadar oksigen yang tinggi. Dalam penentuan kelas sungai juga mempertimbangkan kelarutan oksigen dimana semakin tinggi kelas sungai (Sungai kelas 1) maka semakin baik kualitas suatu perairan (*Tchobanoglous, et al.*, 2014).

d. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran dari konsentrasi ion hidrogen untuk menentukan sifat asam dan basa. Konsentrasi ion hidrogen merupakan ukuran kualitas air dengan kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik.

Perubahan pH pada air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap daya racun bahan pencemaran dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat didalam air (Gazali dkk., 2013).

Dalam berlangsungnya proses biologis yang baik pH air berkisar antara 6,8-9 (Reynold, 1996). Hal ini berkaitan dengan kerja enzim dalam proses degradasi secara biologis.

e. Suhu

Suhu memegang peranan penting dalam siklus materi yang akan mempengaruhi sifat fisik kimia dan biologi perairan. Suhu berpengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam air, proses

metabolisme dan reaksi-reaksi kimia dalam perairan. Kenaikan suhu dalam perairan dapat meningkatkan metabolisme tubuh organisme termasuk bakteri pengurai, sehingga proses dekomposisi bahan organik juga meningkat. Proses ini menyebabkan kebutuhan akan oksigen terlarut menjadi tinggi yang selanjutnya kandungan oksigen terlarut di dalam air menjadi menurun (Gazali dkk., 2013).

2.7 Klasifikasi Kelas Mutu Air

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air pada bagian ketiga (klasifikasi dan kriteria mutu air) dikatakan bahwa klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas.

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang memper-syaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana dan sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.8 Indeks Pencemaran

Indeks Pencemaran (IP) digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks

Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa Pencemaran. IP mencakup berbagai kelompok parameter kualitas yang *independent* dan bermakna. Persamaan 2.6 berikut ini merupakan persamaan IP:

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})^2_M + (C_i/L_{ij})^2_R}{2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

PI_j = indeks Pencemaran bagi peruntukan j

C_i = konsentrasi parameter kualitas air i

L_{ij} = konsentrasi parameter kualitas air i yang tercantum dalam baku peruntukan air

M = maksimum

R = rata-rata

Metode ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Kelas indeks IP ada 4 dengan skor $0 \leq PI_j \leq 1,0$ adalah memenuhi baku mutu (*good*); $1,0 < PI_j \leq 5,0$ cemar ringan (*slightly polluted*); $5,0 < PI_j \leq 10$ cemar sedang (*fairly polluted*), $IP > 10,0$ cemar berat (*heavily polluted*) (Saraswati dkk, 2014).

Perhitungan IP sesuai dengan pedoman yang ada pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 dilakukan sesuai dengan prosedur berikut:

1. Menghitung harga C untuk tiap parameter pada setiap lokasi pengambilan sampel dengan C_i adalah konsentrasi hasil pengukuran dan L_{ij} adalah baku mutu yang harus dipenuhi dalam PP No. 82 Tahun 2001 untuk peruntukan air kelas II.
2. Prosedur perhitungan $(C_i / L_{ij})_{baru}$ berdasarkan beberapa kondisi parameter:
 - Jika nilai konsentrasi parameter yang menurun menyatakan tingkat pencemaran meningkat, misal DO. Maka ditentukan nilai teoritik atau nilai maksimum C_{im} (misal untuk DO, maka C_{im} merupakan nilai DO jenuh).

Pada kasus ini digunakan persamaan (2.4), nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran digantikan oleh nilai C_i/L_{ij} baru hasil perhitungan.

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_{\text{im}} - C_{ij}(\text{hasil pengukuran})}{C_{\text{im}} - L_{ij}} \dots \dots \dots (2.2)$$

- Jika nilai baku mutu L_{ij} memiliki rentang, maka digunakan persamaan 2.8 dan 2.9.

Pada $C_i < L_{ij}$ rata-rata digunakan persamaan (2.3)

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij}(\text{rata-rata})}{L_{ij}(\text{minimum}) - L_{ij}(\text{rata-rata})} \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada $C_i < L_{ij}$ rata-rata digunakan persamaan (2.4)

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij}(\text{rata-rata})}{L_{ij}(\text{maksimum}) - L_{ij}(\text{rata-rata})} \dots \dots \dots (2.4)$$

- Jika dua nilai (C_i/L_{ij}) berdekatan dengan nilai acuan 1,0, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10$. Pada contoh ini tingkat kerusakan badan air sulit ditentukan. Cara untuk mengatasi kesulitan ini adalah:

- 1) Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran jika nilai ini lebih kecil dari 1,0.
- 2) Penggunaan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ jika nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran lebih besar dari 1,0 dengan perhitungan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ menggunakan persamaan (2.5).

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1 + P \cdot \log(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}} \dots \dots \dots (2.5)$$

P merupakan konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (digunakan nilai 5).

3. Menentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan C_i/L_{ij} ($(C_i/L_{ij})_R$ dan $(C_i/L_{ij})_M$).
4. Menentukan harga PI_j atau IP dengan Persamaan (2.1)

2.9 Model Sistem Dinamik

Model didefinisikan sebagai abstraksi dari sebuah objek ataupun situasi aktual (Eriyatno, 2003). Model dapat dikatakan lengkap jika dapat mewakili berbagai aspek dari

realita yang dikaji. Model disusun dan digunakan untuk memudahkan dalam pengkajian sistem karena tidak mungkin untuk bekerja dalam keadaan sebenarnya. Model merupakan representasi yang ideal bagi suatu sistem untuk menjelaskan perilaku sistem. Menurut Muhammadi (2001), sistem adalah keseluruhan interaksi antar unsur dari sebuah obyek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja mencapai tujuan. Menurut Hartrisari (2007) sistem adalah gugus atau kumpulan dari komponen yang saling terkait dan terorganisasi dalam rangka mencapai suatu tujuan tertentu. Prosedur dalam pemodelan adalah menyatakan kembali permasalahan yang akan diselesaikan sesuai dengan tujuan kajian sistem, menyusun hipotesis memformulasikan model, menguji serta menganalisis model.

Model sistem dinamik merupakan seperangkat metode numerik dan konseptual yang berfungsi untuk memahami struktur perilaku sistem yang kompleks. Model sistem dinamik merupakan hubungan dari *causal loop*, umpan balik dan penundaan yang diperkirakan menghasilkan perilaku sistem. (EISawah *et al.*, 2012).

Dinamika sistem merupakan metode yang mapan dan telah diterapkan untuk mempelajari sistem di beberapa bidang, seperti manajemen, analisis kebijakan, ekonomi, biologi, pengobatan dan perubahan iklim. Dalam sistem yang kompleks, interaksi antara proses penentuan umpan balik positif dan negatif ditentukan dari berbagai faktor yang mempengaruhi.

Sistem model dinamik eksplisit merupakan *loop* umpan balik dan biasanya memiliki hubungan non linier sehingga perilaku sistem yang kompleks tetap berjalan secara alami. Selain itu, model dinamik juga dapat dihubungkan dengan aspek kualitatif dalam konteks waktu skala panjang sehingga dapat mewakili fenomena yang terjadi dibandingkan dengan model *time series* lainnya (Neto *et al.*, 2006)

Pemodelan sistem dinamik tidak hanya sederhana tetapi juga kuat karena ide sederhana dapat dikombinasikan menjadi model sistem yang kompleks. Selain itu, pemodelan berguna membuat integrasi pemodelan menjadi sederhana dan bersifat alami karena ide-ide sederhana di balik model sistem dinamik sesuai dengan bentuk dasar pemikiran manusia. Pemodelan sistem dinamik dapat membantu manusia untuk melihat sistem secara keseluruhan. Pemodelan dapat diterapkan dalam *prototipe* aplikasi kehidupan nyata yang kompleks dari ilmu pengetahuan dan rekayasa (Fuchs, 2006).

Tujuan aplikasi metode sistem dinamik adalah untuk memperoleh gambaran atas cara kerja suatu sistem. Permasalahan yang timbul dalam suatu sistem tidak dilihat dari adanya penyebab atau pengaruh dari luar melainkan disebabkan oleh struktur internal sistem. Fokus utama dari metode sistem dinamik adalah pemahaman atas sistem sehingga langkah pemecahan masalah memberi umpan balik kepada sistem (Shusil, 1992).

Dalam Model sistem dinamik terdapat lima tahapan model (Yuan, 2012) diantaranya :

1. Diagram *Causal Loop*
Diagram *causal loop* menunjukkan hubungan sebab akibat antar variabel yang terdapat dalam satu pemodelan. Hubungan sebab akibat dapat bernilai positif jika variabel dalam model tersebut saling mempengaruhi atau berbanding lurus. Hubungan sebab akibat bernilai negatif jika hanya terdapat satu variabel yang mempengaruhi variabel lain atau berbanding terbalik.
2. Diagram *Stock Flow*
Diagram *stock flow* dibuat berdasarkan diagram *causal loop*. Visualisasi diagram ini menunjukkan hubungan antar variabel.
3. Validasi Model
Validasi model dibutuhkan untuk membangun tingkat kepercayaan dalam model sistem dinamik. Pada validasi model perlu dilakukan serangkaian uji.
4. Simulasi Model
Simulasi model adalah tahap pengisian data sesuai dengan data aktual
5. Analisis Skenario

Hasil simulasi yang didapatkan digunakan sebagai acuan untuk merencanakan skenario pengelolaan.

Langkah – langkah dalam pemodelan sistem dinamis ialah sebagai berikut (Sterman, 2000).

- a. Artikulasi masalah (pemilihan batasan)
Pada langkah ini ditentukan:
 - (1) Identifikasi masalah dan mengapa hal tersebut menjadi masalah.
 - (2) Variabel kunci dan konsep yang harus dipertimbangkan.
 - (3) Horison waktu, seberapa jauh ke masa depan harus dipertimbangkan dan seberapa jauh di masa lalu terdapat akar permasalahan.
 - (4) Definisi masalah dinamis, perilaku dari konsep kunci dan variabel serta kemungkinan perilakunya di masa mendatang.
- b. Formulasi hipotesis dinamik
Termasuk dalam formulasi ini adalah:
 - (1) Perumusan hipotesis awal, yaitu teori tentang perilaku masalah.
 - (2) Formulasi hipotesis dinamik yang menerangkan kedinamikan dari struktur umpan balik.
 - (3) Pemetaan, terdiri atas pengembangan peta struktur kausal berdasarkan hipotesis awal, variabel kunci, mode referensi, dan data lain yang tersedia, menggunakan *tools* seperti diagram batasan model, diagram subsistem, diagram *causal loop*, peta *stock* dan *flow*, diagram struktur kebijakan, dan fasilitas *tools* lain.
- c. Formulasi model simulasi
Langkah ini mencakup:
 - (1) Spesifikasi struktur dan kaidah pengambilan keputusan.
 - (2) Estimasi parameter, hubungan perilaku dan kondisi awal.
 - (3) Pengujian konsistensi dengan tujuan dan batasan.

Untuk dapat bermanfaat, model simulasi harus dapat menirukan perilaku pengambil keputusan sehingga model merespon dengan wajar, tidak hanya dalam kondisi yang telah diobservasi di masa lampau tetapi juga untuk keadaan yang tidak pernah ditemui. Pembuat model harus menetapkan dengan tegas,

kaidah pengambilan keputusan yang realistis pada setiap poin keputusan dalam model (Stermann, 2000).

Pada penelitian ini digunakan aplikasi STELLA v9.1.3. untuk membuat sistem dinamis mengenai DO, BOD dan COD Kali Surabaya.

2.10 STELLA (*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation*)

STELLA adalah perangkat lunak komersial untuk pembuatan model sistem dinamik. Menurut Sunaryo (2002), STELLA termasuk bahasa pemrograman interpreter dengan pendekatan lingkungan multi level hierarkis, baik untuk menyusun maupun berinteraksi dengan model. Di dalam program STELLA ada tiga jenjang (*layering*) untuk mempermudah pengelolaan model, terutama untuk model yang sangat kompleks. Hal ini sangat bermanfaat baik untuk pembuat program model maupun untuk pengguna model tersebut. Ketiga jenjang tersebut adalah sebagai berikut (Sunaryo *et al*, 2002).

- a. *High Level Mapping Layer*, yakni jenjang antar-muka bagi pengguna (*users interface*). Pada jenjang ini pengguna model dapat bekerja, seperti mengisi parameter model dan melihat tampilan keluaran.
- b. *Model Construction Layer*. Jenjang ini adalah tempat model berbasis *flow chart*. Apabila pengguna model ingin memodifikasi struktur model, dapat dilakukan dijenjang ini.
- c. *Equation Layer*. Pada jenjang ini dapat dilihat persamaan-persamaan matematika yang digunakan dalam model.


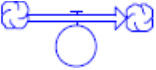


Ketiga jenjang tersebut di atas saling terkait. Penulis (*programmer*) maupun pengguna (*user*) model dapat berpindah dari satu jenjang ke jenjang lainnya. STELLA menggunakan *interface* tergambar untuk memfasilitasi pembangunan model sistem dinamis. STELLA terdiri atas empat *tools* berikut:

- (1) *Stocks*, yang merupakan variabel keadaan untuk akumulasi;
- (2) *Flows*, yang merupakan variabel pertukaran dan mengontrol ketersediaan atau pergantian informasi diantara *stocks*.
- (3) *Converter*, yang merupakan *auxiliary variable*. Variabel – variabel ini dapat direpresentasikan oleh nilai konstanta atau oleh nilai yang bergantung kepada variabel lain, kurva atau fungsi dari berbagai kategori; dan

- (4) *Connector*, yang menghubungkan antara fitur, variabel, dan elemen modeling (Ouyang *et al.*, 2011).

Keempat fitur ini dipaparkan dalam Tabel 2.1 dan merepresentasikan elemen fisik dan proses yang mempengaruhi kualitas air sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Simbol Alat Penyusun Model STELLA

Simbol	Fungsi
	' <i>Stock</i> ' ini merupakan hasil suatu akumulasi. Fungsinya untuk menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter yang masuk ke dalamnya.
	Fungsi dari ' <i>flow</i> ' seperti aliran yakni menambah atau mengurangi <i>stock</i> . Arah anak panah menunjukkan arah aliran tersebut. Aliran bisa satu arah maupun dua arah
	' <i>Converter</i> ' mempunyai fungsi yang luas, dapat digunakan untuk menyimpan konstanta, input bagi suatu persamaan, melakukan kalkulasi dari berbagai input lainnya atau menyimpan data dalam bentuk grafis (tabulasi x dan y). Secara umum tugasnya adalah mengubah suatu input menjadi output.
	Fungsi dari ' <i>connector</i> ' adalah menghubungkan elemen-elemen dari suatu model

Sumber: Sunaryo et al(2005)

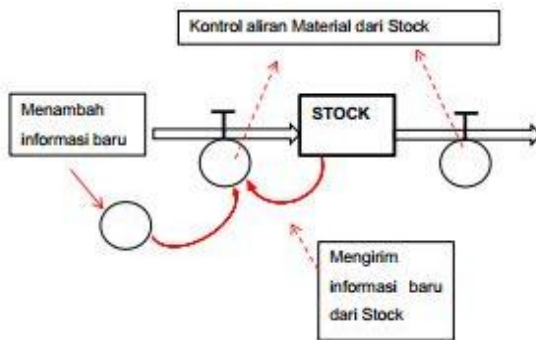
STELLA merupakan alat yang ideal untuk memodelkan sistem dinamik (Teegavarapu, 2005) salah satunya pemodelan sumber daya air. Ryu (2011) menuliskan beberapa alasan penggunaan STELLA dalam memodelkan pengelolaan sumber daya air diantaranya adalah:

- (1) Pemodelan lingkungan dengan STELLA sudah banyak digunakan dalam aplikasi sumber daya air.
- (2) Sederhana untuk sistem yang kompleks
- (3) Fleksibel
- (4) Transparan dan mudah dimengerti
- (5) Ideal untuk proses *collaborative building*
- (6) Dapat ditransfer
- (7) Alat pendidikan yang baik sebagaimana diperlukan.

Tabel 2. 2 Elemen dalam STELLA

Komponen	Objek
Danau, aliran sungai, deposisi, beban polutan	<i>Stocks</i>
Aliran masuk (sungai), berbagai beban	<i>Flows</i>
Hubungan matematis (contoh: aliran beban polutan, hubungan peluluhan	<i>Converters</i>
Batas sistem: alur sungai, outlet, dan DAS.	<i>Sources and sinks</i>
Transfer hubungan dan penghubung tautan	<i>Connectors</i>

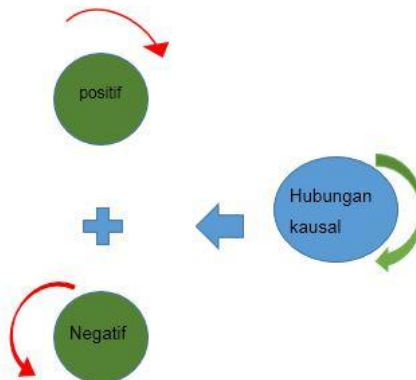
Sumber: Deaton & Winebrake, 2012



Gambar 2. 1. Diagram Alir Program STELLA

Sumber: Deaton & Winebrake, 2012

2.9.1 Causal Loop Diagram



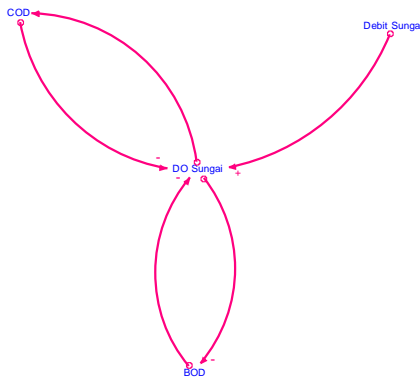
Gambar 2. 2 Lingkaran Kausal dalam Sistem Dinamik

Sumber : Yuan and Chan, 2010

Causal Loop Diagram (CLD) adalah model yang mampu memperlihatkan keterkaitan dan umpan balik dari suatu sistem (Yuan and Chan, 2010). CLD digunakan untuk beberapa hal, yaitu untuk sebuah masalah dan menggambarkan model baik individu ataupun tim. Terdapat dua hubungan dalam kausal, yaitu:

- a. Hubungan positif
Kondisi saat suatu elemen memberikan pengaruh positif pada elemen lain.
- b. Hubungan negatif
Kondisi saat suatu elemen memberikan pengaruh positif pada elemen lain.

Langkah 1 : Membuat Diagram Sebab Akibat



Gambar 2. 3 Causal Loop Parameter BOD, COD dan DO

Struktur model diatas menggambarkan hubungan dari setiap variabel penyusunnya terhadap perubahan kinetika DO yang terbatas pada proses reoksigenasi dan deoksigenasi, yang dapat dituliskan persamaan matematikanya (Chapra,1997). (Persamaan 2.2) sebagai berikut :

$$\frac{dDO}{dt} = K_1 \underbrace{(DO_{sat} - DO_{ukur})}_{\text{Reoksigenasi}} - \underbrace{(K_2 \cdot BOD_{ukur} + K_3 \cdot COD_{ukur})}_{\text{Deoksigenasi}} \dots \dots (2.6)$$

K = Konstanta laju reaerasi, hari⁻¹

DO_{sat} = Konsentrasi oksigen terlarut jenuh, mg/l

DO_{ukur} = Konsentrasi oksigen terlarut, mg/l

BOD_{ukur} = kebutuhan oksigen untuk mendegradasi zat organik secara biokimia, mg/L

COD_{ukur} = kebutuhan oksigen untuk oksidasi bahan organik secara kimiawi, mg/L

Tabel 2. 3 Rancangan Formulasi Model

Aspek Teknis		
<i>Stock</i>	<i>Flow</i>	<i>Converter</i>
DO (mg/l)	Reoksigenasi	BOD (mg/l)
	Deoksigenasi	COD (mg/l)
	Menuju Aliran 1	DO _{sat} (mg/l)
	Aliran 1 ke 2	Konstanta kecepatan reoksigenasi (1/hari)
	Aliran 2 ke 3	Konstanta kecepatan oksidasi BOD (1/hari)
	Aliran 3 ke 4	Konstantan kecepatan oksidasi COD (1/hari)

2.11 Kajian Terdahulu

Model Dinamik Pengendalian Pencemaran Air Sungai telah banyak digunakan di berbagai wilayah baik di Indonesia maupun negara-negara lain. Berikut ini merupakan beberapa kajian terdahulu Model Dinamik Pengendalian Pencemaran Air Sungai.

1) ***Model Dinamik Pengendalian Pencemaran Air Kali Surabaya***

Pada tahun 2011, pemodelan sistem dinamik untuk pengendalian Pencemaran Air Kali Surabaya dilakukan. Hasil analisis air Kali Surabaya dikatakan tercemar berat setelah ditetapkan berdasarkan sistem STORET dan berdasarkan hasil pemodelan

dapat ditentukan pengendalian pencemar air Kali Surabaya berdasarkan faktor yang memiliki pengaruh kuat terhadap kinerja sistem (Suwari,2011).

2) *Kebijakan Perbaikan Kualitas Air Sungai dengan Metode Sistem Dinamik*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air sungai berdasarkan pada perilaku masyarakat sekitar daerah aliran sungai (DAS) Pegirikan dan membuat model dinamik yang menyatakan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air Sungai. Model dinamik pada pemodelan kualitas air sungai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tingkat pertumbuhan penduduk, curah hujan, debit aliran sungai, luas daerah aliran sungai, suhu sungai, Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) (Yustina,2009)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

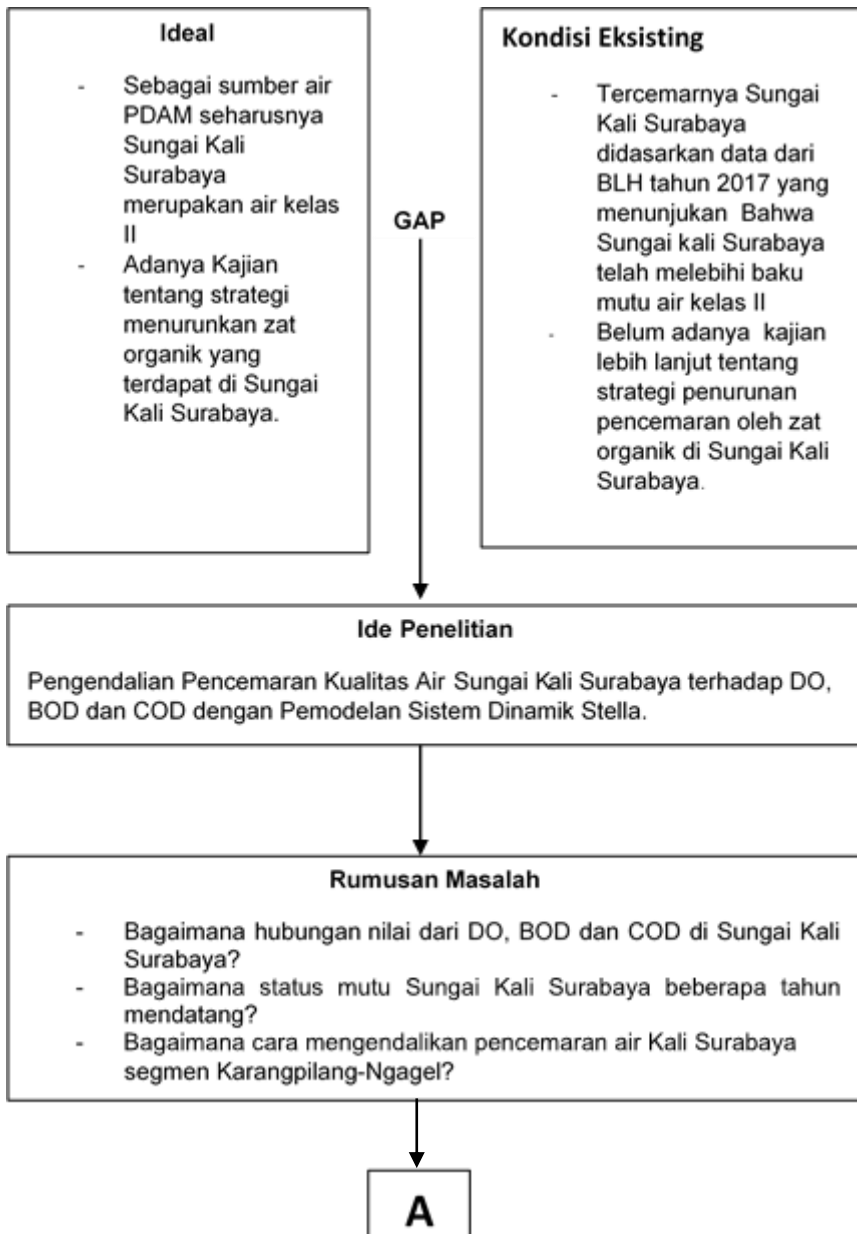
Metode penelitian dimaksudkan untuk merumuskan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian pengendalian pencemaran air Kali Surabaya Segmen Karangpilang-Ngagel. Langkah-langkah ini meliputi penentuan lokasi, penentuan panjang segmen sungai, pengumpulan data, analisis, serta hasil analisis dengan menggunakan program *STELLA*, sehingga dari hasil penelitian nantinya dapat diketahui hubungan dari DO, BOD serta COD pada Kali Surabaya Segmen Karangpilang-Ngagel.

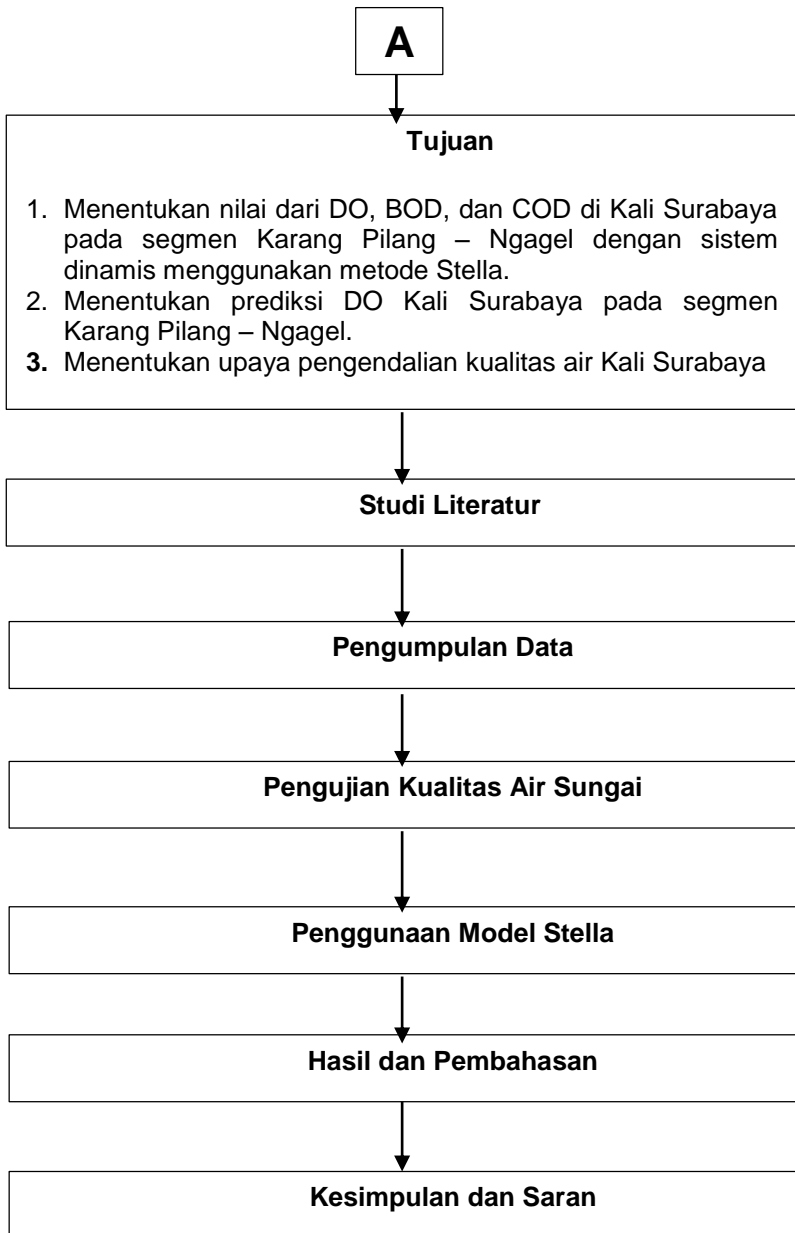
3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan dasar atau alur pemikiran yang digunakan untuk melaksanakan tahapan dalam penelitian. Kerangka pelaksanaan penelitian dibuat dalam bentuk gambaran visual tahapan penelitian untuk mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitian sehingga dapat memperkecil resiko yang dapat terjadi selama berlangsungnya penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini didasarkan dengan adanya pencemaran pada kali Surabaya oleh limbah industri maupun limbah rumah tangga. Hal tersebut menyebabkan penurunan kualitas air sungai. Air Kali Surabaya dimanfaatkan sebagai bahan baku air PDAM Karangpilang Surabaya sehingga dilakukan upaya untuk mengetahui hubungan antar parameter DO BOD serta COD dan memprediksikan konsentrasi DO, BOD dan COD pada Kali Surabaya dalam beberapa tahun mendatang.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari awal sampai akhir penelitian untuk mendapatkan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat menjadi acuan dalam menganalisis data untuk memperoleh kesimpulan pada penelitian ini. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian kali ini meliputi penelitian terdahulu, buku teks, internet dan lain sebagainya mengenai Kali Surabaya, model STELLA, baku mutu air sungai, pencemaran air serta parameter kualitas air.

3.2.3 Penentuan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Kali Surabaya yaitu segmen Karangpilang sampai Ngagel. Pemilihan kali Surabaya sebagai objek penelitian didasarkan karena Kali Surabaya merupakan sumber air untuk PDAM kota Surabaya yang semakin hari tingkat pencemarannya semakin meningkat. Sehingga perlu pengendalian pencemaran pada Kali Surabaya agar tidak berbahaya bagi lingkungan serta masyarakat di sekitar Kali Surabaya.

Pada penelitian kali ini terdapat 3 segmen dengan 4 titik yaitu Karangpilang, Sepanjang, Gunungsari dan Ngagel yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pembagian segmen didasarkan atas segmen yang sudah digunakan pada data sekunder. Selain itu pembagian segmen berdasarkan sumber pencemar dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Pembagian Segmen berdasarkan sumber pencemar

Segmen	Area
Segmen 1	Kawasan pemukiman, Industri.
Segmen 2	Kawasan pemukiman, Industri.
Segmen 3	Kawasan Rumah Potong Hewan, pemukiman dan Industri..

Tabel 3. 2 Lokasi Titik Sampling

Titik Sampling	Lokasi Sampling
Titik 1	Karang Pilang
Titik 2	Sepanjang
Titik 3	Gunung Sari
Titik 4	Ngagel

Total sampel yang akan dianalisis pada penelitian ini sebanyak 12 sampel. Setiap hari akan diambil sampel di 4 titik dan dilakukan selama empat hari.

Panjang tiap segmen dapat dilihat pada Tabel 3.3 sedangkan pada Tabel 3.4 dapat dilihat koordinat pada masing-masing titik sampling.

Tabel 3. 3 Data Panjang per Segmen Kali Surabaya

Segmen	Titik	Panjang
1	Titik 1 - Titik 2	2.04 km
2	Titik 2 - Titik 3	3.16 km
3	Titik 3 – Titik 4	4.46 km

Sumber: *Google Earth* (2018)

Tabel 3. 4 Data Koordinat Segmen Kali Surabaya

Titik	Koordinat	
	Garis Lintang	Garis Bujur
1	7°20'54.84"S	112°40'52.74"T
2	7°20'30.13"S	112°41'53.35"T
3	7°19'4.20"S	112°42'40.54"T
4	7°18'1.23"S	112°44'22.83"T

Sumber: *Google Earth* (2018)

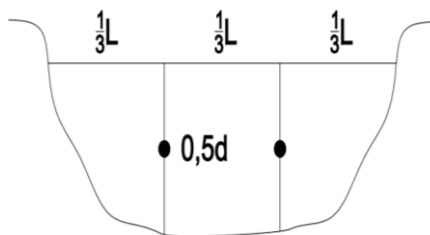
3.2.4 Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis deskriptif kuantitatif dengan menggunakan data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan mencakup data sekunder dan data primer. Data primer yang digunakan mencakup data kualitas air yaitu DO, BOD, COD, Suhu, pH, kecepatan serta debit sungai. Sedangkan data sekunder yang dikumpulkan yaitu peta Kali Surabaya, data kualitas Kali Surabaya 2 tahun terakhir yaitu tahun 2016-2017. Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengukuran langsung dan analisis di laboratorium.

3.2.5 Pengujian Kualitas Air

3.2.5.1 Pengambilan Sampel

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.57:2008 yaitu titik pengambilan sampel air sungai ditentukan berdasarkan debit air sungai. Pengambilan sampel dilakukan pada frekuensi 3 kali. Dilakukan pengambilan sampel dengan kondisi yang sama selama tiga hari. Pengambilan sampel dimulai dari hulu sungai pada pukul 08.00 WIB. Waktu pengambilan ini didasarkan pada aktifitas penggunaan air sepanjang segmen penelitian yang sebagian besar merupakan daerah permukiman, perkantoran, perniagaan dan perdagangan.



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel pada Penampang Hidrolis Sungai

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2008)

3.2.5.2 Alat Pengambilan Sampel dan Wadah Sampel

Berdasarkan *Standard Method* beberapa alat dan bahan untuk mendukung pengukuran parameter uji adalah sebagai berikut:

1. Botol *winkler* atau botol plastik untuk menyimpan sampel agar tidak ada kontaminan dan oksigen yang masuk kedalam botol.
2. Bahan kimia yang digunakan dalam pengawetan
3. Alat pengukur untuk melakukan pengukuran dengan teliti
4. Termometer untuk mengukur suhu air
5. *Box* pendingin digunakan untuk menyimpan sampel.
6. Kamera untuk mendokumentasikan kegiatan sampling.
7. Tali untuk mempermudah proses sampling.
8. Alat Sampling untuk mengambil air Kali Surabaya
9. Ember plastik untuk menampung air sampling.

3.2.5.3 Pengawetan Sampel

Sampel yang diambil pada setiap titik segmen Kali Surabaya perlu diawetkan, karena sampel tidak langsung dianalisis. Cara pengewetan sampel dilakukan untuk beberapa parameter dapat dilihat pada Tabel 3.5

3.2.5.4 Uji Kualitas Air

Pengujian kualitas air untuk semua parameter dilakukan di laboratorium kecuali pengukuran suhu yang dilakukan di lapangan. Pengujian kualitas air untuk semua parameter dilakukan berdasarkan SNI mengenai kualitas air. SNI yang dapat digunakan untuk setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 3.6. Dokumentasi saat sampling dapat dilihat pada Lampiran E.

Tabel 3. 5 SNI untuk pengujian setiap parameter

No	Parameter	SNI	Metode

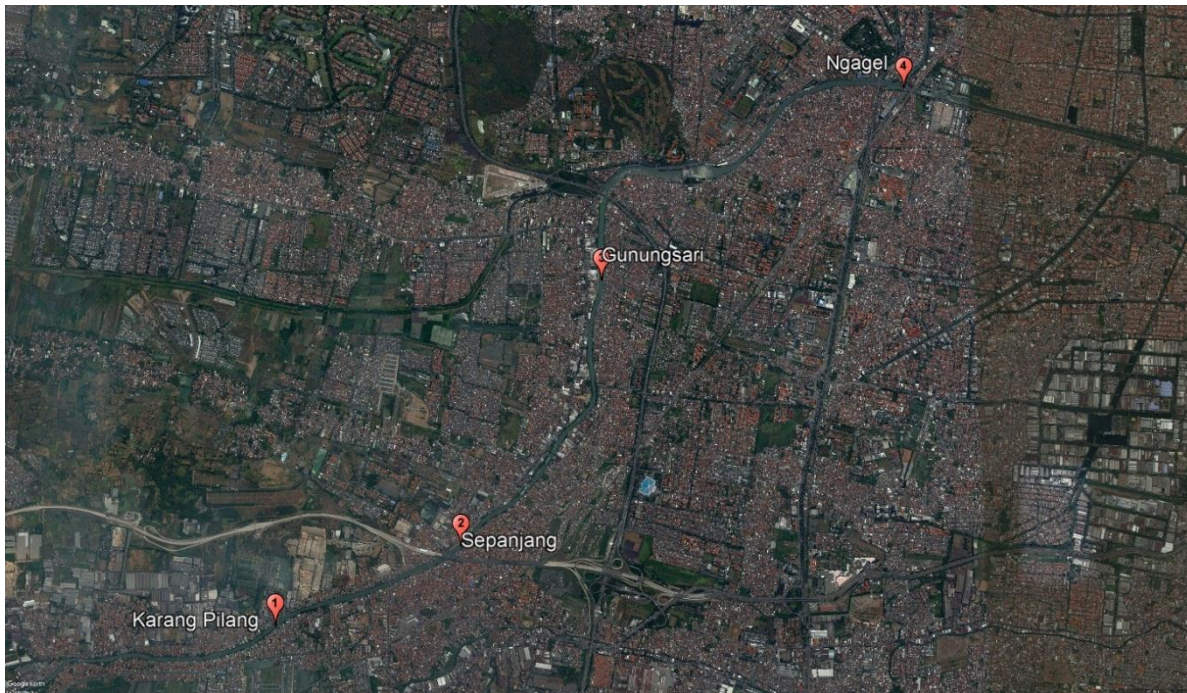
1	BOD	SNI 6989.72:2009	Winkler
2	DO	SNI 06- 6989.14-2004	Iodometri
3	COD	SNI 6989.73:2009	Refluks

3.2.6 Pemodelan *STELLA*

STELLA (Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation) adalah otomatis *software* dirancang untuk mengoperasikan berbagai input problem yang diterjemahkan dalam bentuk model. Program *STELLA* digunakan untuk membangun dan kemudian bereksperimen dengan berbagai model kreatif untuk menggambarkan konsep penting dari sistem dinamik guna memprediksi berbagai kasus atau situasi melalui input data penelitian atau data literatur.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Dari analisis data dan pembahasan, selanjutnya ditarik kesimpulan berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan. Pemberian saran didasari oleh hasil pembahasan yang dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.



Gambar 3. 3 Titik Pengambilan Sampel

Tabel 3. 6 Cara Pengawetan Sampel

No	Parameter	Wadah Penyimpanan	Mininum jumlah contoh yang diperlukan (mL)	Pengawetan	Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan	Lama Penyimpanan maksimum menurut EPA
1	Oksigen Terlarut	G Botol BOD	300	Langsung Dianalisa Titrasi dapat ditunda setelah contoh diasamkan	8 jam	0.25 jam 8 jam
	Dengan Elektroda					
	Metode Winkler					
2	Ph	P,G	50	Segera Dianalisa	2 jam	2 jam
3	BOD	P,G	1000	Didinginkan	6-24 jam	

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan kegiatan penyusuran Kali Surabaya yang dilakukan pada bulan Maret 2018. Kegiatan ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran secara langsung mengenai lokasi titik sampling yang dilakukan secara rutin oleh Perum Jasa Tirta.

4.2 Segmentasi Sungai

Kali Surabaya akan dianalisis dengan panjang sungai penelitian 9.66 km dari titik awal sampling Karangpilang hingga di Ngagel. Segmen ini didasarkan dengan kesesuaian karakteristik kualitas air adanya masukan anak sungai dan perubahan hidrolis sungai. Pembagian segmen dalam pembetukan model *STELLA* dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Pembagian Segmen Kali Surabaya

No	Nama Segmen	Panjang (km)	Koordinat	
			Hulu	Hilir
1	Karangpilang-Sepanjang	2.04	7°20'54.84"S	7°20'30.13"S
			112°40'52.74"	112°41'53.35"
2	Sepanjang-Gunung Sari	3.16	"T	T
			7°20'30.13"S	7°19'4.20"S
3	Gunung Sari-Ngangel	4.46	112°41'53.35"	112°42'40.54"
			"T	T
			7°19'4.20"S	7°18'1.23"S
			112°42'40.54"	112°44'22.83"

1. Segmen Karang Pilang – Sepanjang

Segmen Karang Pilang – Sepanjang (Titik 1-2) dengan panjang segmen 2.04 km. Segmen ini dibagi berdasarkan kualitas air sungai adanya masukan dari kawasan pemukiman, industri. Peta untuk segmen Karangpilang – Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 4.1

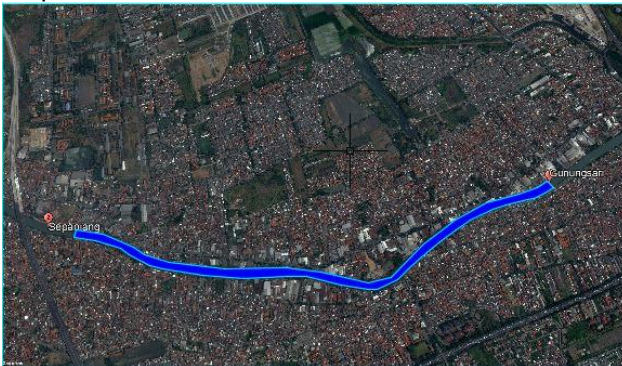


Gambar 4. 1 Segmen Karangpilang – Sepanjang

Sumber: Google Earth,2018

2. Segmen Sepanjang – Gunung Sari

Segmen Sepanjang – Gunung Sari (Titik 2-3) dengan panjang segmen 3.16 km. Segmen ini dibagi berdasarkan kualitas air sungai adanya masukan dari kawasan pemukiman, industri. Peta untuk segmen Sepanjang – Gunung Sari dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Segmen Sepanjang – Gunung Sari

Sumber: Google Earth,2018

3. Segmen Gunung Sari - Ngagel

Segmen Gunung Sari - Ngagel (Titik 3-4) dengan panjang segmen 4.46 km. Segmen ini dibagi berdasarkan kualitas air sungai adanya masukan dari kawasan pemukiman, industri. Peta untuk segmen Gunung Sari - Ngagel dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Segmen Gunung Sari - Ngagel

Sumber: Google Earth, 2018

4.3 Kondisi Kali Surabaya

4.3.1 Kondisi Eksisting Perairan Kali Surabaya

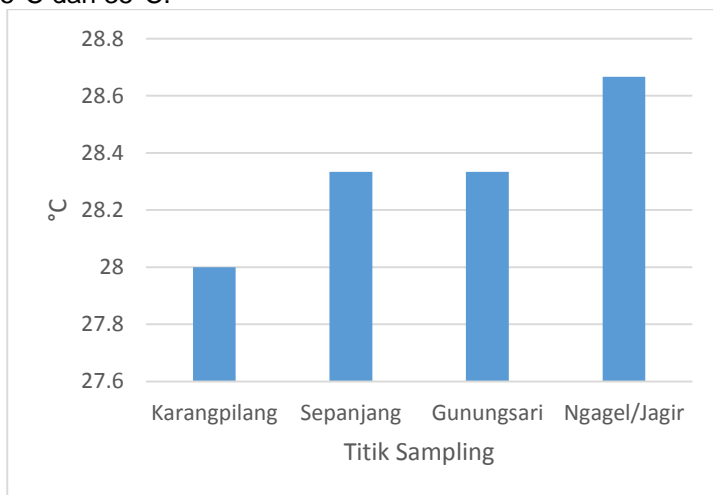
Evaluasi kondisi eksisting perairan Kali Surabaya dilakukan dengan cara membandingkan hasil analisis parameter fisik dan kimia kualitas air dari contoh air yang diambil dengan kriteria mutu kualitas air yang berlaku, yaitu mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 61 tahun 2010 tentang penetapan klasifikasi mutu air Kali Surabaya sebagai kelas II. Data sekunder dapat dilihat pada Lampiran A. Data primer dapat dilihat pada Lampiran B.

4.3.2 Suhu Air

Suhu air memiliki efek langsung dan tidak langsung di hampir semua aspek ekologi sungai serta mempunyai kaitan erat dengan kualitas perairan. Semakin tinggi suhu perairan semakin menurun kualitasnya, karena kandungan oksigen

terlarut akan menurun sehingga banyak mikroorganisme perairan yang mati. Tinggi rendahnya suhu air dipengaruhi oleh suhu udara, kedalaman air, tutupan vegetasi di sempadan sungai dan kekeruhan air. Suhu perairan juga dapat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam air. Menurut Suwari (2011) pada umumnya, semakin tinggi suhu akan semakin cepat proses berlangsungnya reaksi kimia. Suhu perairan yang tinggi akan meningkatkan kelarutan senyawa-senyawa kimia dan mempengaruhi dampak polutan pada kehidupan akuatik.

Hasil pengukuran suhu air diperlihatkan pada Gambar 4.4. Nilai suhu air Kali Surabaya berfluktuasi dari zona hulu, zona tengah, dan zona hilir. Secara umum, suhu rata-rata perairan Kali Surabaya berkisar antara 28,00°C hingga 28,67°C, dengan rata-rata keseluruhan 28.33°C. Nilai suhu tertinggi terdapat di Ngagel (28.67°C) dan nilai terendah terdapat di Karangpilang (28,00°C). Hal ini sesuai dengan pendapat Abowei & George (2009), yang menyatakan bahwa suhu air sungai di daerah tropis umumnya bervariasi antara 25°C dan 35°C.



Gambar 4. 4 Pengukuran Suhu Kali Surabaya

Perbedaan suhu pada setiap titik pengamatan dipengaruhi oleh suhu udara, perbedaan intensitas cahaya matahari pada saat pengukuran, kondisi iklim, dan cuaca pada saat pengukuran.

Hasil pengukuran suhu ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh peneliti Kali Surabaya sebelumnya. PJT (2017) melaporkan rentang suhu Kali Surabaya 28,97°C – 30,05°C. Secara umum suhu perairan Kali Surabaya memenuhi Kriteria Mutu Air kelas II karena deviasi suhu dari keadaan alamiahnya kurang dari 3 °C.

4.3.3 Derajat Keasaman (pH)

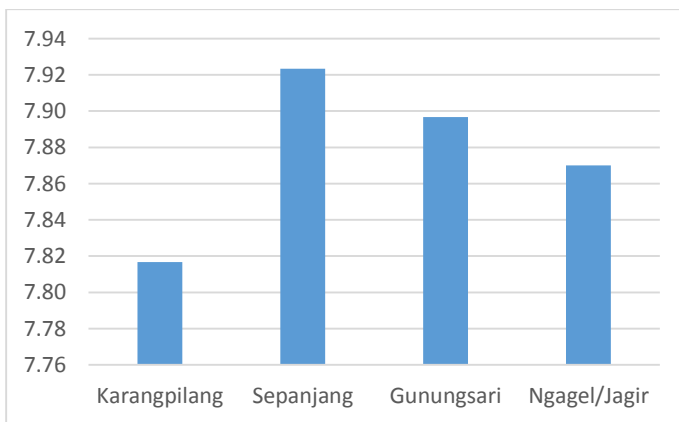
Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas air dan penentuan nilai daya guna perairan baik untuk keperluan rumah tangga, irigasi, kehidupan organisme perairan dan kepentingan lainnya. Nilai pH menunjukkan tingkat keasaman atau kekuatan asam dan basa dalam air. Besarnya pH air mempengaruhi kelarutan dan bentuk senyawa kimia dalam badan air. Perubahan pH dalam perairan akan mempengaruhi perubahan dan aktivitas biologis. Menurut Adeyemo *et al.* (2008), pertumbuhan organisme perairan dapat berlangsung dengan baik pada kisaran pH 6.5 – 8.2. Kategori pH dikatakan buruk jika hasil uji laboratorium mendekati nilai ≤ 6 (bersifat asam) atau mendekati nilai ≥ 9 (bersifat basa). Derajat keasaman yang dianjurkan menurut baku mutu air minum kelas 1 adalah pada kisaran 6 – 9.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH air Kali Surabaya berfluktuasi dari zona hulu, zona tengah dan hilir, namun masih berada pada kisaran pH air normal yaitu pH 6 – 9. Nilai rata-rata pH air Kali Surabaya pada empat titik pengamatan berkisar antara 7,82-7,92 dengan nilai rata-rata keseluruhan 7,88. Nilai pH tertinggi terdapat di Sepanjang (pH 7,92), sedangkan nilai pH terendah terdapat di Karangpilang (pH 7,82).

Variasi nilai pH yang teramati dalam penelitian ini sesuai dengan hasil yang dilakukan oleh PJT (2017) yang

mencatat nilai pH antara 6.06 – 7.84. Fluktuasi nilai pH pada air sungai menurut Siradz *et al.* (2008) dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain (i) bahan organik atau limbah organik. Meningkatnya keasaman dipengaruhi oleh bahan organik yang membebaskan CO₂ jika mengalami proses penguraian, (ii) bahan anorganik atau limbah anorganik. Air limbah industri bahan anorganik umumnya mengandung asam mineral dalam jumlah tinggi sehingga kemasamannya juga tinggi, (iii) basa dan garam basa dalam air, (iv) hujan asam akibat emisi gas.

Secara umum pH perairan Kali Surabaya masih berada pada kisaran yang aman sebagai sumber air baku air minum berdasarkan ambang batas KMA kelas II yang mensyaratkan nilai pH antara 6-9. Gambar 4.5 menampilkan variasi pH



Gambar 4. 5 Pengukuran pH Kali Surabaya

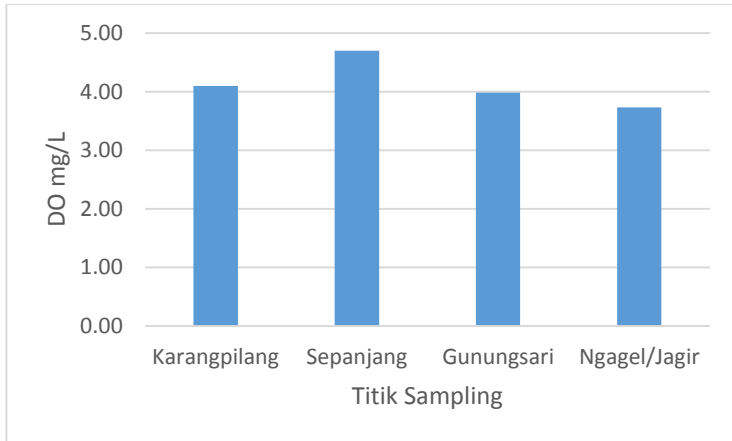
Fluktuasi nilai pH pada setiap lokasi pengamatan diduga juga dapat disebabkan oleh perbedaan waktu dilakukannya pengambilan contoh dan pengaruh masukkan pencemar industri yang juga bersifat fluktuatif. Rata-rata nilai pH air Kali Surabaya pada empat titik pengamatan adalah 7.88.

4.3.4 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut (DO) merupakan parameter kualitas air kunci yang menggambarkan kondisi kesegaran air. Menurut Raja *et al.* (2008), kadar DO menunjukkan jumlah oksigen terlarut dalam air atau mengindikasikan status oksigen dalam badan air. Kadar DO dalam perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/l. Kandungan DO merupakan hal penting bagi kelangsungan organisme perairan, sehingga penentuan kadar oksigen terlarut dalam air dapat dijadikan ukuran untuk menentukan mutu air. Oksigen terlarut merupakan kebutuhan vital bagi kelangsungan hidup organisme suatu perairan dan dapat menjadi faktor pembatas dalam penentuan kehadiran makhluk hidup dalam air. Perairan yang tercemar bahan organik akan mengalami penurunan kandungan oksigen terlarut karena oksigen yang tersedia dalam air akan digunakan mikroorganisme untuk menguraikan bahan pencemar organik. Pencemaran organik yang berlebihan akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme pengurai, sehingga akan menimbulkan kondisi perairan tanpa oksigen (anoksik). Pada kondisi perairan anoksik, penguraian bahan organik tetap berlanjut namun terjadi secara anaerobik yang akan menghasilkan gas berbau busuk (Bapedal 2006).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar oksigen terlarut (DO) di perairan Kali Surabaya pada empat titik pengamatan di zona hulu lebih tinggi dibandingkan zona tengah dan hilir. Nilai DO tertinggi terdapat di Sepanjang (4,7 mg/l), sedangkan nilai DO terendah terdapat di Ngagel (3,73 mg/l). Nilai DO rata-rata berkisar 3,73-4,70 mg/l, dengan nilai rata-rata keseluruhan 4.13 mg/l. Nilai DO ini hampir sama dengan hasil penelitian PJT I (2017) dengan rata-rata 4,25 mg/l. Menurut Akan *et al.* (2010), standar DO yang ditentukan untuk keberlanjutan kehidupan organisme perairan adalah 5 mg/l, di bawah nilai tersebut berdampak negatif terhadap kehidupan organisme perairan. Jika konsentrasi DO di perairan berada di bawah 2 mg/l menyebabkan kematian pada kebanyakan ikan. Data kualitas air Kali Surabaya berdasarkan parameter DO ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kadar oksigen terlarut berfluktuasi antara periode pengamatan yaitu 3.7 – 4,7 mg/L. Fluktuasi tersebut diduga akibat proses pencampuran (mixing) dan pergerakan massa air (turbulence), aktifitas fotosintesis, respirasi dan pengaruh limbah (effluent) yang masuk ke dalam badan air



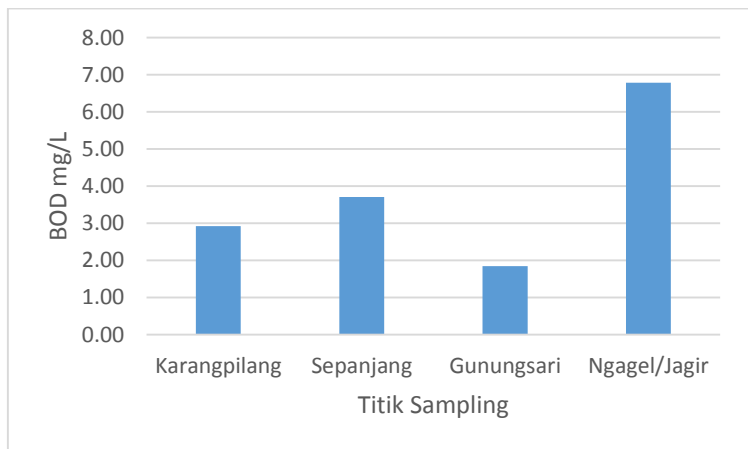
Gambar 4. 6 Pengukuran DO Kali Surabaya

Secara umum, kadar oksigen terlarut Kali Surabaya tidak memenuhi kelas II yang mensyaratkan kadar DO > 4 mg/l. Kadar DO yang melebihi 4 mg/L memberikan gambaran bahwa Kali Surabaya sudah tercemar oleh bahan organik. Hal ini sejalan dengan pendapat Rahayu dan Tontowi (2005) yang menyatakan bahwa besarnya oksigen terlarut dalam air menunjukkan tingkat kesegaran air di lokasi tersebut, sehingga apabila kadar oksigen terlarut rendah maka ada indikasi telah terjadi pencemaran oleh zat organik. Hal ini terjadi karena semakin banyak zat organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme, semakin banyak pula oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme sehingga pada segmen Karangpilang-Ngagel DO menurun dari 4,7 mg/L menjadi 3,7 mg/L.

Limbah domestik, pertanian, efluen industri dan sampah yang di buang ke dalam sungai menjadi penyebab utama tingginya tingkat pencemaran di bagian hilir sungai. Penurunan kadar DO dapat terjadi karena adanya penambahan beban pencemaran organik.

4.3.5 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah kebutuhan oksigen untuk mendegradasi bahan organik menjadi anorganik dari tidak stabil kemudian menjadi senyawa lebih stabil. Besaran BOD digunakan sebagai cara untuk mengindikasikan pencemaran organik di perairan. Semakin banyak bahan organik yang terdapat dalam perairan, maka makin besar jumlah oksigen yang dibutuhkan, sehingga harga BOD semakin besar yang mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran.



Gambar 4. 7 Pengukuran BOD Kali Surabaya

Hasil penelitian memperlihatkan, bahwa nilai BOD antar titik pengamatan dan periode pengamatan sangat beragam (Gambar 4.7). Nilai BOD Kali Surabaya pada empat stasiun pengamatan rata-rata berkisar antara 1.85-6.79 mg/l, menunjukkan gejala peningkatan nilainya. Hasil ini berbeda

dengan pemantauan PJT 1 (2017) dengan nilai BOD berkisar 1,99 – 23,95 mg/l namun untuk gejalanya sama. Berdasarkan pada gejala tersebut secara keseluruhan nilai BOD Kali Surabaya dapat berada di atas ambang batas kelas II yang mensyaratkan nilai BOD maksimum 4 mg/l. Menurut Siradz *et al.* (2008), nilai BOD yang tinggi secara langsung mencerminkan tingginya kegiatan mikroorganisme di dalam air dan secara tidak langsung memberikan petunjuk tentang kandungan bahan-bahan organik yang tersuspensikan.

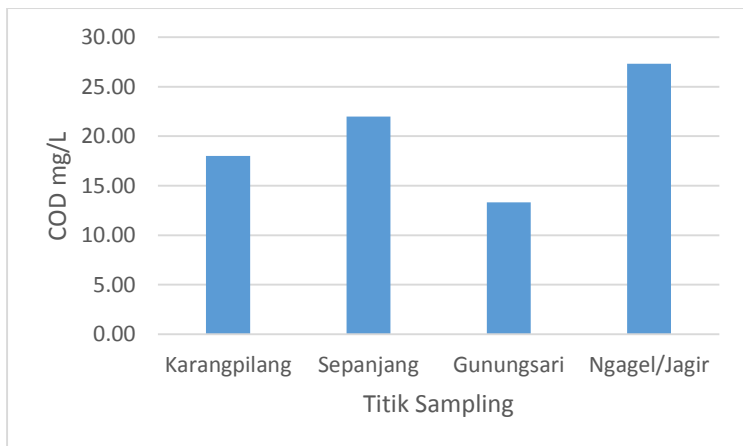
Secara umum, nilai BOD hasil pengukuran tidak selalu meningkat dari hulu ke hilir, karena di setiap titik dapat terjadi pemasukan buangan organik ke sungai dengan konsentrasi BOD dan debit tertentu yang dapat menyebabkan penurunan atau peningkatan konsentrasi BOD sungai. Hal tersebut diperkuat Abowei & George (2009) yang menyatakan bahwa nilai BOD secara umum tidak berbeda secara signifikan antar musim dan antara hulu – hilir.

4.3.6 Chemical Oxygen Demand (COD)

Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) menunjukkan jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar dibiodegradasi secara biologis (*non-biodegradable*). Nilai COD dapat digunakan sebagai ukuran bagi pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kadar DO di dalam air.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kadar COD perairan Kali Surabaya pada empat titik pengamatan rata-rata berkisar 13.33-27.33 mg/l, dengan nilai tertinggi di Ngagel (27.33 mg/l) dan nilai terendah di Gunungsari (13,33 mg/l). Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil pemantauan PJT I (2017) dengan nilai COD 8.9 – 89.33 mg/l. Namun gejala nilai COD dari Karangpilang-Ngagel mengalami kenaikan. Secara keseluruhan perbandingan nilai BOD5 perairan Kali Surabaya ditinjau dari kadar COD tidak layak sebagai sumber air baku air minum berdasarkan ambang batas kelas II dan COD adalah 25

mg/L. Menurut Alaerts dan Santika (1984), hal ini memperlihatkan bahwa di samping terdapat bahan-bahan pencemar organik yang dapat dibiodegradasi oleh mikroorganisme terdapat juga bahan-bahan yang tidak dapat dibiodegradasi. Hal tersebut diperkuat pendapat Raja *et al.* (2008), yang menyatakan bahwa nilai COD yang lebih tinggi dari nilai BOD mengindikasikan keberadaan bahan-bahan yang dapat teroksidasi secara kimia terutama adalah bahan-bahan *non-biodegradable*. yang mensyaratkan nilai COD maksimum 10 mg/l. Data hasil pengukuran kadar COD perairan Kali Surabaya disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Pengukuran COD Kali Surabaya

4.3.7 Kondisi Hidrolis Kali Surabaya

Data hidrolis Kali Surabaya didapatkan dari hasil orientasi lapangan dan data sekunder yang berasal dari instansi yang terkait. Data hidrolis sungai mencakup kedalaman sungai rata-rata, lebar, dan kecepatan aliran. Kedalaman sungai diukur menggunakan alat *echosounder*. Setelah didapatkan kedalaman sungai, dapat dihitung luas penampang basah dengan menggunakan rumus

$$a_x = \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} d_x$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x$$

Keterangan:

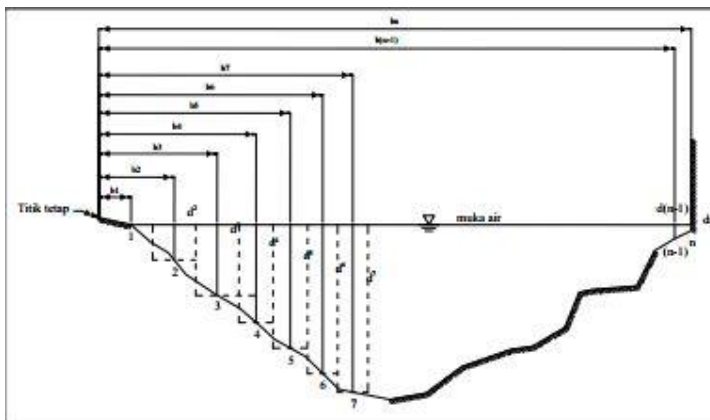
a_x : adalah luas penampang basah pada bagian ke x, (m²)

$b_{(x+1)}$: adalah jarak titik vertical sesudah titik vertical ke x dari titik tetap, (m)

$b_{(x-1)}$: adalah jarak titik vertical sebelum titik vertical ke x dari titik tetap, (m)

d_x : adalah kedalaman pada titik vertical ke x, (m)

A adalah luas seluruh penampang basa, (m²)



Gambar 4. 9 Pengukuran debit dengan (*mid section*)

Perhitungan luas penampang dapat dilihat pada Lampiran B. Luas seluruh penampang basah pada masing-masing titik sampling dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan kondisi hidrolis sungai dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 2 Luas Penampang Basah Tiap Titik

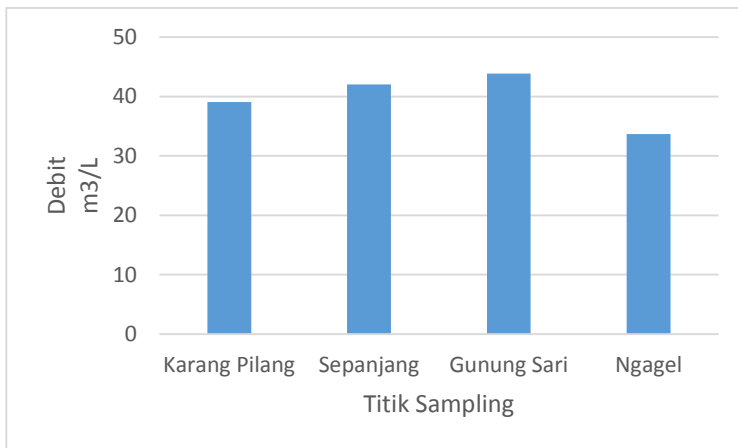
Titik Sampling	Luas Penampang Basah(m ²)
Karang Pilang	69.385
Sepanjang	68.665
Gunung Sari	83.03
Ngagel	71.483

Tabel 4. 3 Kondisi Hidrolis Kali Surabaya

Segmen	Lebar (m)	Kecepatan (m/s)	Debit Rata-Rata (m ³ /detik)
Karang Pilang	42.6	0.563	39.09
Sepanjang	42.2	0.61	42.03
Gunung Sari	43.17	0.53	43.85
Ngagel	40.5	0.47	33.63

4.3.8 Kondisi Debit Kali Surabaya

Kali Surabaya setiap tahunnya menunjukkan perubahan-perubahan debit. Fluktuasi hasil pemantauan debit Karangpilang hingga Ngagel ditunjukkan dalam grafik Gambar 4.10

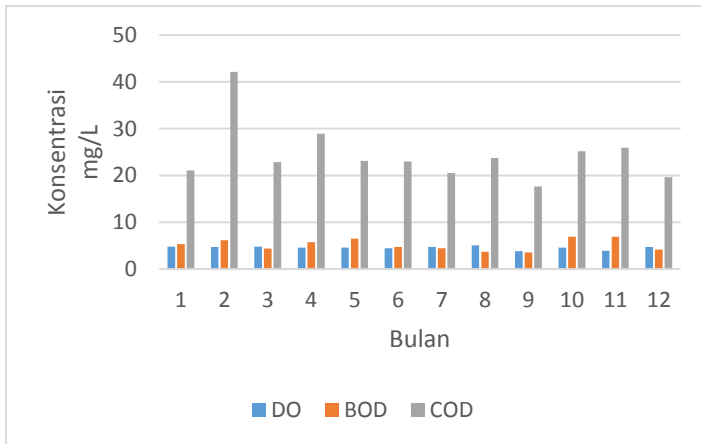


Gambar 4. 10 Pengukuran Debit Rata-Rata Kali Surabaya

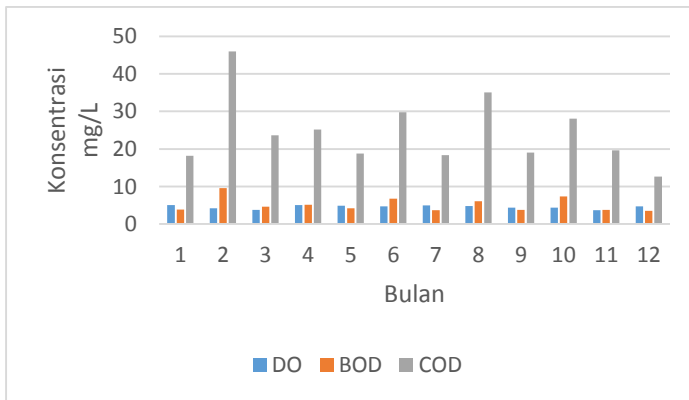
4.3.9 Kondisi Kualitas Air Kali Surabaya Tahun 2017

Gambar 4.11 menunjukkan kondisi kualitas air Kali Surabaya di tahun 2017 pada titik Karangpilang menunjukkan bahwa pada bulan Februari tercatat nilai COD sebesar 42,145 mg/L dengan kadar DO 4,7 mg/L dan BOD 6,11 mg/L. Sedangkan nilai terkecil dari COD, DO dan BOD didapat pada bulan September dengan nilai COD 17,62 mg/L dengan DO sebesar 3,8 mg/L dan BOD 3,525 mg/L. Nilai BOD tertinggi yaitu 6,915 mg/L terdapat pada bulan Oktober.

Gambar 4.12 menunjukkan kondisi kualitas air Kali Surabaya di tahun 2017 pada titik Sepanjang menunjukkan bahwa pada bulan Februari tercatat nilai tertinggi COD sebesar 46,02 mg/L dengan kadar DO 4,2 mg/L dan BOD tertinggi dengan nilai 9,62 mg/L. Sedangkan nilai terkecil dari COD dan BOD didapat pada bulan Desember dengan nilai COD 12,67 mg/L dengan DO sebesar 4,7 mg/L dan BOD 3,55 mg/L. Kadar DO tertinggi terdapat pada bulan Januari dengan nilai 5,1 mg/L dan nilai DO terendah terukur pada bulan November sebesar 3,7 mg/L.



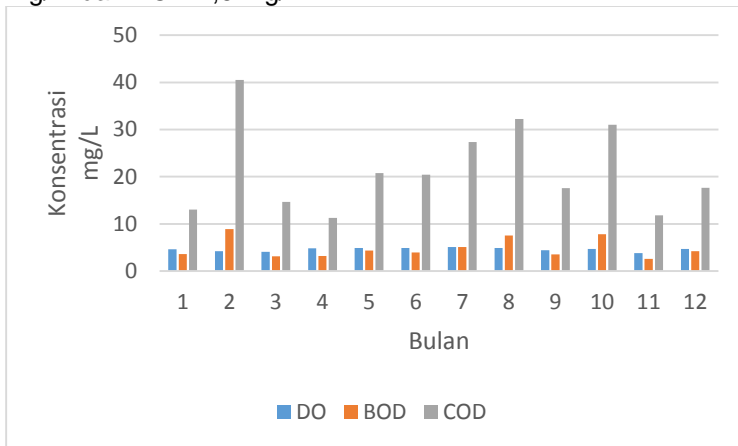
Gambar 4. 11 Kualitas Kali Surabaya titik Karangpilang



Gambar 4. 12 Kualitas Kali Surabaya titik Sepanjang

Gambar 4.13 menunjukkan kondisi kualitas air Kali Surabaya di tahun 2017 pada titik Gunungsari menunjukkan bahwa pada bulan Februari tercatat nilai tertinggi COD sebesar 40,55 mg/L dengan kadar DO 4,2 mg/L dan BOD tertinggi dengan nilai

8,93 mg/L. Sedangkan nilai terkecil dari COD didapat pada bulan April dengan nilai COD 11,25 mg/L dengan DO sebesar 4,8 mg/L dan BOD 3,17 mg/L. Kadar DO tertinggi terdapat pada bulan Juni dengan nilai 5.1 mg/L dan nilai DO dan BOD terendah terukur pada bulan November dengan nilai DO 3,7 mg/L. dan BOD 2,6 mg/L.

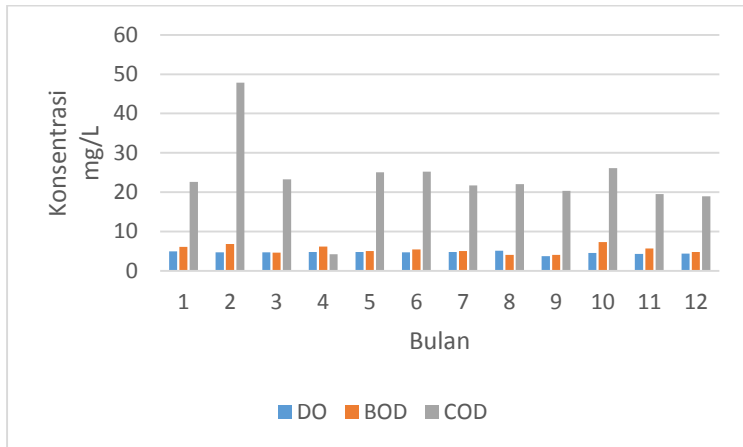


Gambar 4. 13 Kualitas Kali Surabaya titik Gunungsari

Gambar 4.14 menunjukkan kondisi kualitas air Kali Surabaya di tahun 2017 pada titik Ngagel menunjukkan bahwa pada bulan Februari tercatat nilai tertinggi COD sebesar 47,845 mg/L dengan kadar DO 4,65 mg/L dan BOD 6,84 mg/L. Sedangkan nilai terkecil dari COD didapat pada bulan April dengan nilai COD 4.2 mg/L dengan DO sebesar 4,75 mg/L dan BOD 6,145 mg/L. Kadar DO tertinggi terdapat pada bulan Agustus dengan nilai 5.1 mg/L. Nilai DO dan BOD terendah terukur pada bulan Nopember dengan nilai DO 3,75 mg/L dan BOD 4,035 mg/L.

Data yang *time series* dan yang sudah tervalidasi akan sangat mempengaruhi hasil dari pemodelan sistem dinamis ini. Sehingga untuk mendapatkan hasil dari hubungan dari DO,

BOD dan COD dibutuhkan data-data yang *time series*, baik itu data sekunder ataupun data primer.



Gambar 4. 14 Kualitas Kali Surabaya titik Ngagel

Dapat dilihat dari grafik dan penjelasan diatas bahwa dari data pengukuran PJT 1 pada tahun 2017 didapatkan data yang fluktuatif. Banyak faktor eksternal yang dapat menyebabkan data-data tersebut sangat ekstrim. Hal ini mempengaruhi hasil running model.

4.3.10 Kondisi Kualitas Sumber Pencemar

Sumber pencemar yang terdapat di sekitar aliran Kali Surabaya berupa *point source* yaitu aliran yang masuk ke sungai melalui titik-titik tertentu yang diketahui atau *non-point source* yaitu aliran masuk yang tidak tertentu salurannya dan bersifat merata di sepanjang sungai. Data kondisi kualitas air limbah sumber pencemar *point source* dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 4 Kualitas air limbah pencemar point source

Nama Perusahaan	Jenis Industri	Lokasi (km)	Debit Masuk	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
Priscolin, PT***	Minyak Goreng	10.65	0,000006	0.18	0.71
Kali Tengah**	Saluran	9.35	0.8	21.6	53.8
Surabaya Mekabox, PT*	Kertas	10.6	0.03218	59.41	263.52
Surabaya Wire, PT***	Kawat	9.3	0.003	4.32	14.53
Kedawung Setia, PT*	Karton Box	9.1	0.00162	3.31	7.66
Spindo, PT*	Pipa Baja	9	0.00855	11.99	31.84
Suparma, PT*	Kertas	8.8	0..1	9.215	43.075
Sarimas Permai, PT*	Minyak Kelapa	7.7	0.00062	13.04	50.41
Kali Pelayaran**	Anak Sungai	7.15	2.5	4.6	0
Saluran Warugunung**	Anak Sungai	7	0.6	55.1	0
Asia Victory, PT*	Keramik	7.4	0.00187	2.72	8.55
IKI Mutiara, PT*	Plastik	7.05	0.01085	38.67	117.33
Sumber Baru, CV***	Konveksi	7.05	0.00163	34.83	86.49
Perusahaan Tegel Jombang*	Keramik	5.72	0.01516	37.87	122.92
Bangun, CV*	Ubin	5.7	0.0001	0.07	0.22
Perusahaan Tahu Purnomo*	Tahu	5.64	0.00055	343.8	819.5
Jayabaya Raya, PT*	Detergen t	5.49	0.00026	0.054	2.39
Pakabaya Jaya, PT*	Korek Api	5.34	0.00244	16.21	33.14
FA Cemara Agung***	Minyak Kelapa	3.94	0.00051	24.09	58.28
Gawerejo, PT*	Pakaian	3.7	0.00065	3.23	5.06
Sintang Apollo, PT***	Benang	3.35	0.00164	38.03	107.12
Perusahaan Tahu Halim Jaya*	Tahu	2.34	0.002	437.85	1040.5
Perusahaan Tahu Gunungsari*	Tahu	2.31	0.00302	139.2	409.8

4.3.11 Penggunaan Air Kali Surabaya

Debit Kali Surabaya dapat dipengaruhi oleh saluran yang keluar ataupun masuk, serta pengambilan air langsung dari intake ataupun proses pengambilan industri. Data penggunaan air Kali Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 5 Data penggunaan air Kali Surabaya

Nama Perusahaan	Keterangan Jenis Industri	Lokasi (km)	Debit(m3/d etik)
Surabaya Mekabox, PT*	Kertas	10.6	0.055
Kedawung Setia, PT*	Karton Box	9.1	0.02
Spindo, PT*	Pipa Baja	9	0.023
Suparma, PT*	Kertas	8.8	0.134
Sarimas Permai, PT*	Minyak Kelapa	7.7	0.01
Asia Victory, PT*	Keramik	7.4	0.285
IKI Mutiara, PT*	Plastik	7.05	0.01
Sumber Agung, UD*	Plastik	6.79	0.05
IPAM Karangpilang* Perusahaan Tahu	Air Minum	5.65	4.7
Su'od* Perusahaan Tegel	Tahu	6.22	0.09
Jombang*	Keramik	5.72	0.001
Bangun, CV* Perusahaan Tahu	Ubin	5.7	0.002
Purnomo*	Tahu	5.64	0.011
Jayabaya Raya, PT*	Detergent	5.48	0.008
Pakabaya Jaya, PT*	Korek Api	5.34	0.01
Saluran Pagesangan*	Saluran	4.1	0.024
Gawerejo, PT*	Pakaian	3.7	0.003
Petrokimia**	Pupuk	2.6	0.25
Saluran Kebonagung** Perusahaan Tahu	Saluran	2.9	0.249
Halim Jaya*	Tahu	2.34	0.01

Nama Perusahaan	Keterangan Jenis Industri	Lokasi (km)	Debit(m3/d etik)
Perusahaan Tahu Gunungsari*	Tahu	2.31	0.004
Perusahaan Tahu Kedurus***	Tahu	2.3	0.01
Saluran Jambangan**	Saluran	1.9	0.024
Saluran Karah**	Saluran	0.4	0.015
Yani Gor*	Olahraga	0.15	0.03
Saluran Gunungsari	Saluran	0	0.024

Sumber: *BLH Provinsi Jawa Timur (2016)*, Syafi' Ali (2011)** dan Suwari(2011)****

4.4 Pembentukan Model

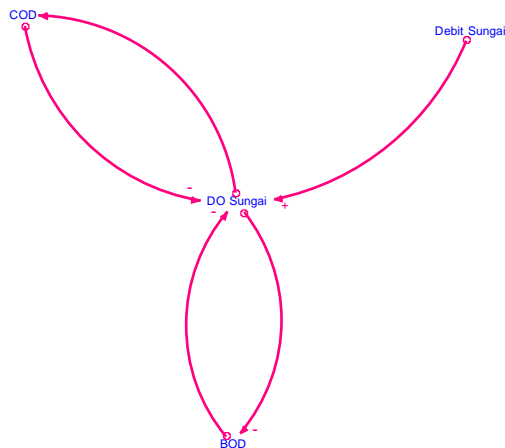
Model adalah bentuk sederhana dari sebuah obyek atau situasi guna menemukan perubahan penting dan tepat serta hubungan antara perubahan dalam sistem berdasarkan hasil pendekatan. Masukan atau input yang mempengaruhi keberlanjutan pengendalian adalah input lingkungan, input kontrol, dan input tak terkontrol. Input lingkungan mencakup peraturan perundangan. Input terkontrol merupakan input yang dapat dikendalikan pelaksanaan manajemennya dalam sistem untuk menghasilkan output yang dikehendaki, sedangkan input tidak terkontrol merupakan input yang tidak dapat dikontrol.

Variabel-variabel yang mencakup input terkontrol merupakan hasil identifikasi dan analisis atas elemen program dalam membangun sistem. Sementara itu, variabel yang termasuk input tidak terkontrol yaitu limbah *pointsource* dan *non pointsource*. Pada proses umpan balik terhadap input terkontrol dan tidak terkontrol diperoleh output yang dikehendaki dan tidak dikehendaki yang dapat digunakan untuk menilai kinerja sistem.

Model pengendalian pencemaran Kali Surabaya disusun dalam satu kesatuan model. Model pengendalian pencemaran air Kali Surabaya adalah untuk mengetahui hubungan tiap parameter kualitas air Kali Surabaya. Perhitungan model sistem dinamis dapat dilihat pada Lampiran C.

4.4.1 Causal Loop

Diagram *causal loop* adalah diagram yang menunjukkan hubungan sebab akibat serta keterkaitan antar variabel. Hubungan sebab akibat dan keterkaitan antar variabel ditunjukkan dengan anak panah. Anak panah bernilai positif jika hubungan antara dua variabel berbanding lurus. Anak panah tersebut bernilai negatif bila hubungan antara dua variabel berbanding terbalik. Diagram *causal loop* ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Diagram *causal loop*

Sistem dinamik adalah sebuah metodologi penghampiran terhadap realitas permasalahan dunia nyata yang berbasis pada simulasi komputer. Sistem dinamik dapat dijadikan alternatif metodologi dalam memprediksi perilaku atas suatu realitas sistem nyata.

Tujuan aplikasi metode sistem dinamik adalah untuk memperoleh gambaran atas cara kerja suatu sistem. Permasalahan yang timbul dalam suatu sistem tidak dilihat dari

adanya penyebab atau pengaruh dari luar melainkan disebabkan oleh struktur internal sistem. Fokus utama dari metode sistem dinamik adalah pemahaman atas sistem sehingga langkah pemecahan masalah memberi umpan balik kepada sistem (Shusil,1992). *Feedback loop/ causal loop* (umpan balik) itu dinyatakan dalam konsep *stock* (stok) dan *flow* (aliran). *Causal loop* menyatakan suatu situasi X mempengaruhi Y dan Y mempengaruhi X yang mungkin melalui serangkaian rantai hubungan sebab akibat. Situasi saling mempengaruhi antara X dengan Y tidak dapat dipelajari secara terpisah. Konsep stok dan aliran ini menerangkan bahwa komponen sistem itu ada yang bersifat akumulasi yaitu *stock* dan ada juga yang bersifat mengalir yaitu *flow*.

Model adalah perumusan matematika dari proses-proses fisika/kimia/biologi suatu fenomena alam, sehingga jika dimasukkan data-data penunjang, kemudian dihitung dengan metode perhitungan tertentu, akan dapat dihasilkan gambaran proses. Kelebihan model dapat digunakan sebagai sarana simulasi, sehingga dengan model dapat diperkirakan, memprediksi dan mempelajari berbagai kemungkinan yang dapat terjadi jika berbagai skenario diaplikasikan dalam model. Proses *trial and error* dapat dilakukan pada model yang menggantikan dunia nyata dalam menghasilkan kebijakan yang tepat, akurat dan dapat dipertanggungjawabkan dari waktu ke waktu. Dengan demikian resiko dan dampak dari eksekusi kebijakan yang merugikan dapat dikurangi menjadi sekecil mungkin karena eksekusi-eksekusi tersebut tidaklah pada dunia nyata.

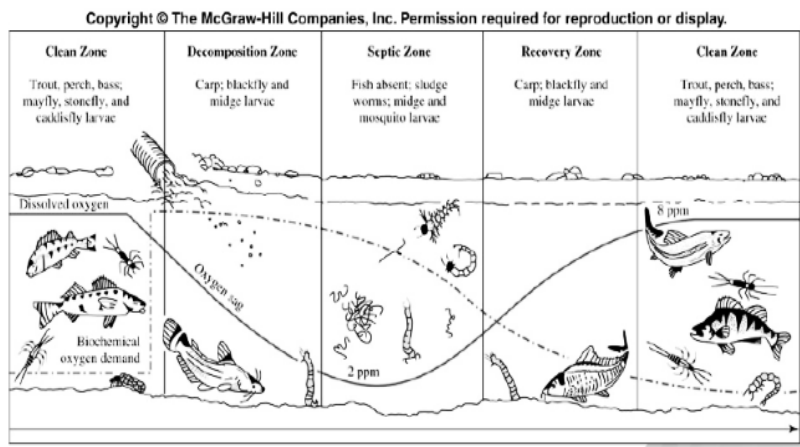
4.4.2 Struktur Model

Dari definisi BOD dan COD sama-sama menunjukkan kebutuhan jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi zat-zat organik didalam air, namun ditentukan dengan cara analisa yang berbeda. Pada analisis nilai COD, sampel direaksikan dengan menggunakan kalium iodida, untuk selanjutnya dititrasi dengan menggunakan kalium dikromat. Sedangkan BOD diukur dengan cara melakukan inkubasi disuhu ruangan selama lima hari, untuk kemudian di

reaksikan dengan MnO_2 lalu dititrasi dengan Tio Sulfat. Dari kedua analisis yang cukup jauh berbeda ini, tentu saja akan didapatkan hasil yang cukup jauh berbeda pula. Hal ini dikarenakan metode analisis COD berbasis pada titrasi dikromat sedangkan BOD berbasis pada oksidasi dengan bakteri selama masa inkubasi 5 hari. Nilai COD selalu lebih besar dari BOD (jika sebaliknya artinya hasil analisisnya salah). Hal ini memang benar adanya. Karena nilai BOD hanya terpengaruh pada jumlah TSS dan juga zat organik yang ada dalam air. Sedangkan COD adalah total keseluruhan dari pengotor TSS, zat organik, mineral bervalensi rendah, ditambah dengan zat kimia yang memakan oksigen (*oxygen scavenger*). Dalam beberapa kasus dapat ditemukan nilai BOD 2/3 dari nilai COD, dan bahkan hanya kurang dari sepertiganya. Untuk kasus dimana BOD kurang dari sepertiga dari nilai COD, berarti air limbah yang mengandung banyak sekali zat penangkap oksigen diluar dari TSS ataupun zat organik. Zat penangkap oksigen tersebut bisa berasal dari ammonia anorganik, logam berat dan zat kimia yang memakan oksigen. Jika air limbah memiliki parameter BOD jauh sekali dibawah nilai COD, disarankan melakukan analisa terhadap parameter lainnya. Jika BOD berkurang tentunya COD berkurang karena BOD adalah bagian dari COD namun tidak berlaku sebaliknya, dikarenakan ada beberapa hal yang dapat menyebabkan COD tinggi meskipun BOD rendah.

Nilai BOD dan COD dipengaruhi oleh nilai oksigen terlarut (DO). Jika oksigen terlarut rendah, maka organisme aerob kemungkinan akan mati atau akan menguraikan bahan organik dan menghasilkan bahan seperti metana dan hidrogen sulfida. Zat-zat itulah yang menyebabkan air berbau busuk.

Hubungan parameter BOD dan DO dialiran air Gambar 4.16 berbanding terbalik bila BOD tinggi DO berkurang.



Gambar 4. 16 Hubungan DO dan BOD

Pemodelan Streeter dan Phelps hanya terbatas pada dua fenomena yaitu proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam mendegradasikan bahan organik yang ada dalam air dan proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi/reoksigenasi) yang disebabkan turbulensi yang terjadi pada aliran sungai.

Persamaan laju reaerasi berdasarkan O’Connors & Dobbins (Persamaan 4.1) :

$$r_R=K_2(DO_{sat}-DO).....(4.1)$$

Dimana :

- r_R = Laju reaerasi
- K₂ = Konstanta laju reaerasi, hari⁻¹ (basis bilangan natural)
- DO_{sat} = Konsentrasi oksigen terlarut jenuh, mg/l
- DO = Konsentrasi oksigen terlarut, mg/l

Angka konstanta kecepatan reoksigenasi k₂ menunjukkan besarnya laju penyerapan oksigen atmosfer ke

dalam perairan. Dari rumus O'Connor – Dobbins, Churchill, Owen and Gibbs besarnya k_2 di perairan bergantung pada kombinasi antara nilai kecepatan (v) dan kedalaman (H) seperti dinyatakan dalam persamaan 4.2 :

$$k = 294 \frac{Dl v^{0.5}}{H^{1.5}} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$Dl = 1.760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \times 1.037^{T-20} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana :

- k = Konstanta kecepatan reoksigenasi/reaerasi
- Dl = Koefisien difusi molekuler untuk oksigen, m^2/hari
- v = Kecepatan aliran rata-rata, m/s
- H = Kedalaman aliran rata-rata, m

Semakin deras dan dangkal suatu perairan, semakin besar angka konstanta kecepatan reoksigenasi dan sebaliknya (Chapra, 1997).

Angka konstanta kecepatan dekomposisi k_1 menunjukkan besarnya laju penguraian bahan organik oleh mikroorganisme aerob dalam perairan. Pada penerapannya di lapangan (alami), nilai k_d laboratorium (botol) dapat dijadikan acuan sebagai pendekatan awal meskipun proses dekomposisi keduanya berbeda. Pada kondisi tertentu, nilai k_1 perairan bisa lebih besar karena adanya faktor pengendapan dan efek sedimentasi (Thomman, 1987). Oleh karena itu, konstanta di lapangan perlu mempertimbangkan konstanta lain yang dapat memperbesar nilai k_1 . Struktur model dapat dilihat pada Gambar 4.25

4.5 Running Model

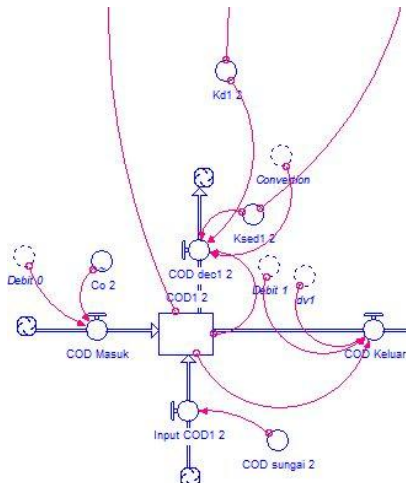
Didalam running model terdapat beberapa tahap antara lain ada, verifikasi serta validasi data.

4.5.1 Verifikasi Satuan, Model dan persamaan

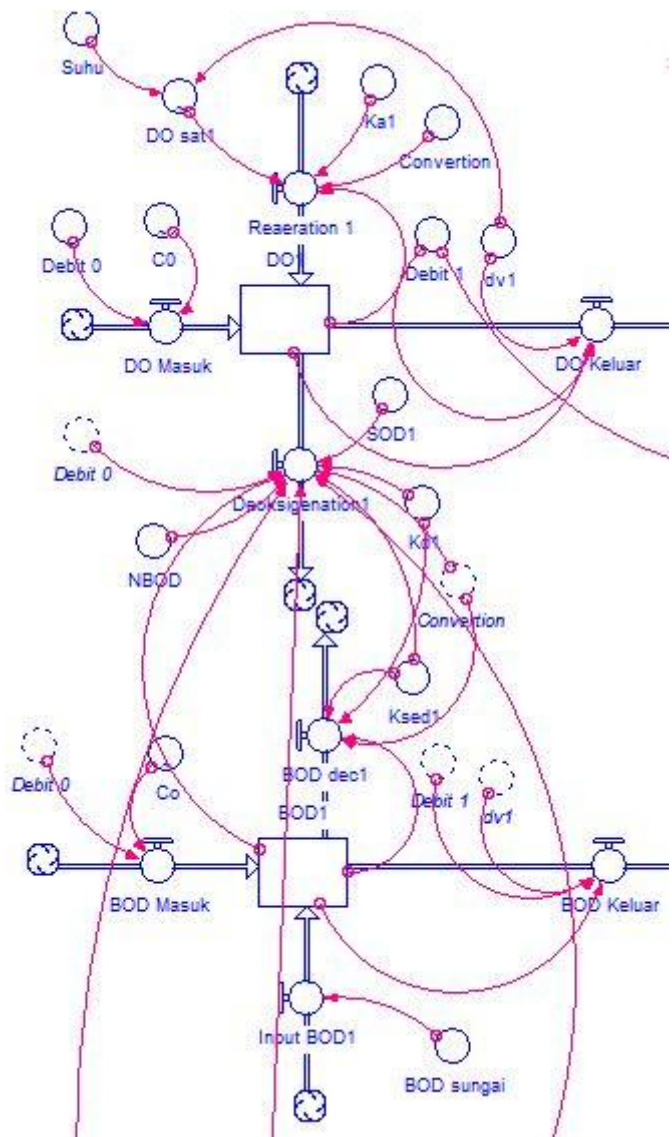
Verifikasi model dimaksudkan untuk memeriksa *error* yang terjadi pada model, sehingga model berfungsi sesuai dengan logika. Langkah awal melakukan verifikasi model adalah dengan verifikasi unit. Verifikasi unit dimaksudkan untuk memeriksa formulasi (*equation*) dan satuan (*unit*) pada model

yang dibuat. Cara verifikasi unit adalah dengan buka toolbar menu *Run* kemudian pilih *Check Units* seperti pada Gambar 4.19. Hasil verifikasi model jika tidak terjadi *error* dan bersifat konsisten adalah seperti pada Gambar 4.20.

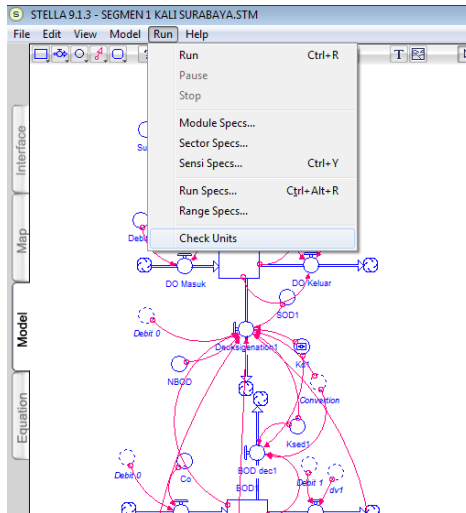
Jika verifikasi unit telah sukses, selanjutnya dilakukan verifikasi struktur model dengan cara tekan keyboard *shift* sambil memilih file yang akan diverifikasi. Cara memilih file yang akan diverifikasi adalah buka *toolbar* menu *File* lalu pilih *Open* kemudian pilih file yang akan diverifikasi. Setelah file dipilih maka akan keluar *toolbar* seperti pada Gambar 4.21 centang *Verify/Repair Model* lalu tekan *Ok*. Tampilan stella akan kembali kepada halaman Model, kemudian buka *toolbar* menu *Run* dan pilih *Verify/Repair Model* seperti pada Gambar 4.22. Tahap terakhir akan muncul *toolbar* seperti Gambar 4.23 pilih tombol *start* untuk memulai verifikasi model. Hasil Verifikasi Model jika telah sukses adalah seperti pada Gambar 4.24.



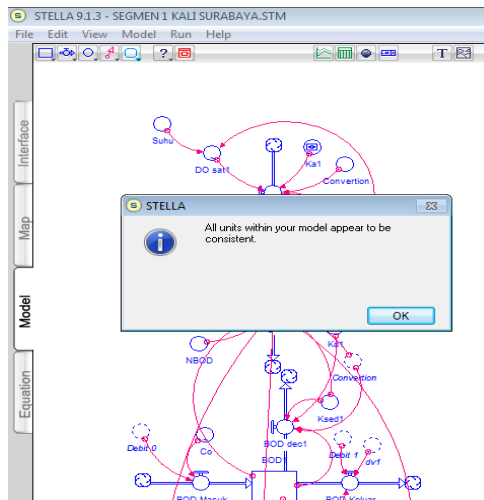
Gambar 4. 17 Struktur Model COD



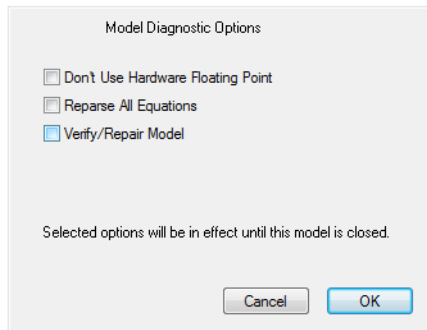
Gambar 4. 18 Struktur Model DO dan BOD



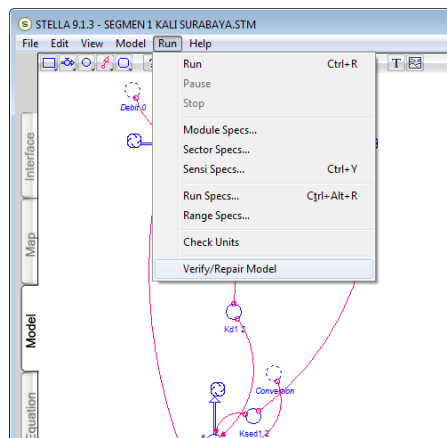
Gambar 4. 19 Menu Toolbar Verifikasi Unit



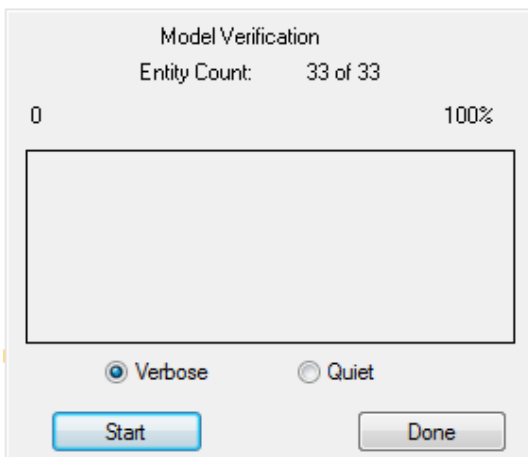
Gambar 4. 20 Hasil Verifikasi Unit



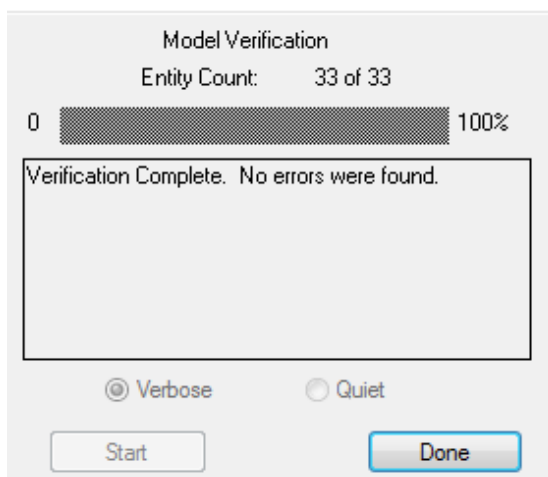
Gambar 4. 21 Model Diagnostic Options



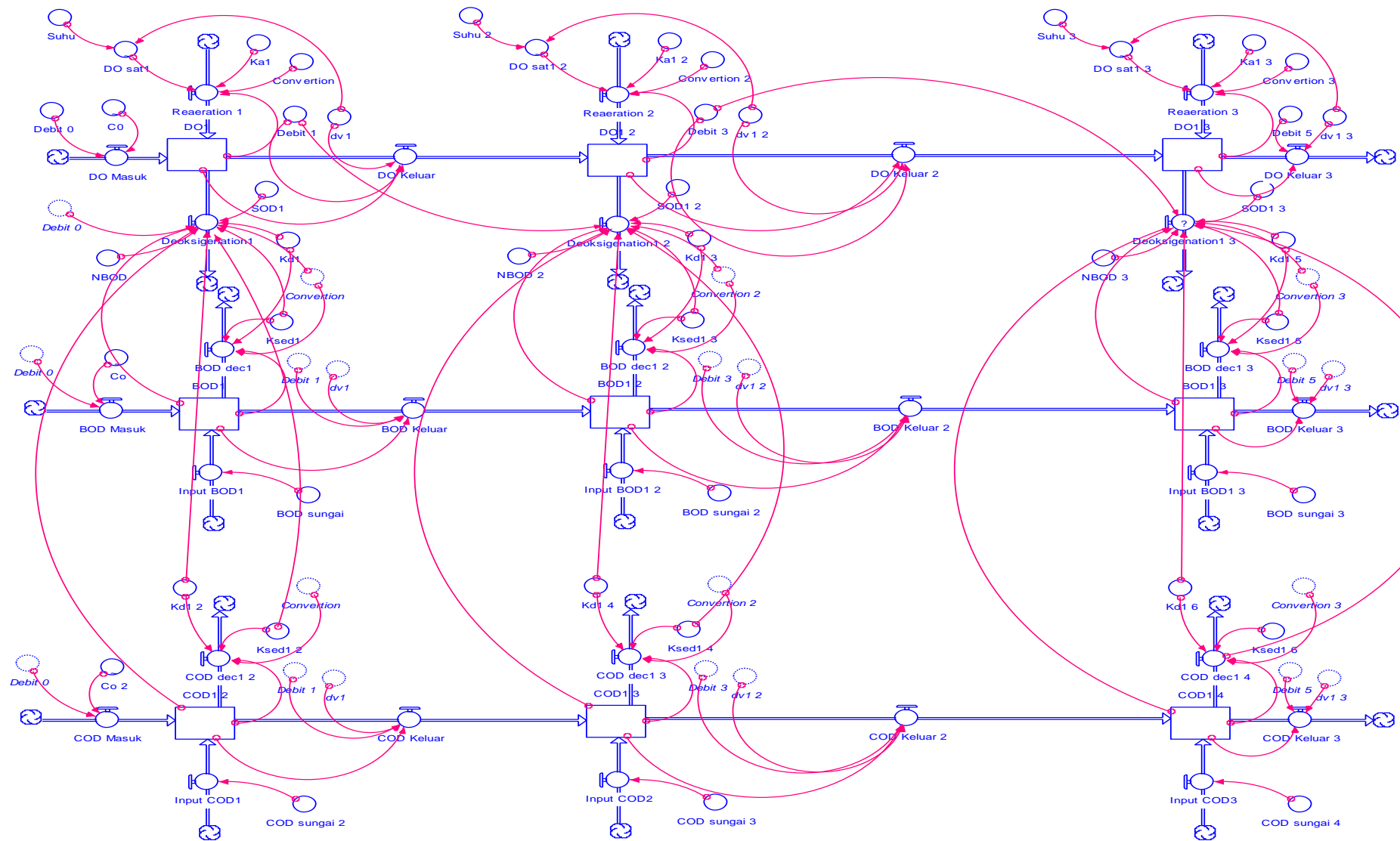
Gambar 4. 22 Pilihan Verify Model



Gambar 4. 23 Proses Verifikasi Model



Gambar 4. 24 Hasil Verifikasi Model



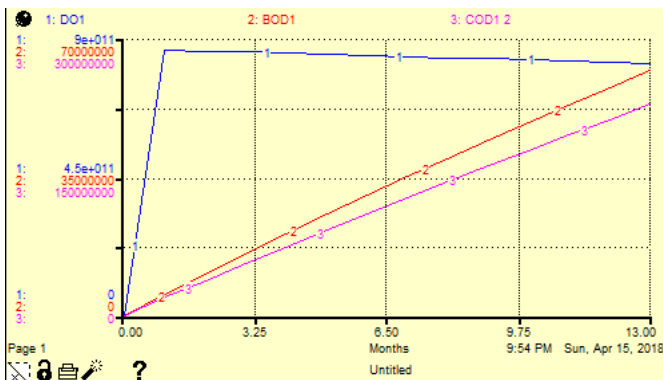
Gambar 4. 25 Struktur Model

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.5.2 Validasi Model

Validasi struktur model merupakan proses validasi utama dalam berpikir sistem. Validasi bertujuan untuk melihat sejauh mana kesamaan struktur model dengan struktur dalam kenyataan, yang berkaitan dengan batasan sistem, variabel pembentuk dan asumsi yang mengenai interaksi yang terjadi di dalam sistem. Hasil dari model ini jika dibandingkan dengan model aktual tidak jauh berbeda, sehingga dapat diartikan bahwa model telah tervalidasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.26.

Uji parameter model ini dilakukan dengan melihat tiga variabel yang saling berhubungan satu sama lainserta membandingkan logika aktual dengan hasil simulasi. Pada penelitian ini parameter model di dasarkan pada parameter utama yaitu DO, BOD dan COD. Perilaku DO mengalami kenaikan diawal kemudian cenderung mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.26. Sedangkan untuk parameter BOD dan COD mengalami kenaikan sampai di titik terakhir. Ketiga parameter tersebut telah sesuai dengan logika actual tiap parameter. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa berdasarkan uji parameter model, model yang ada di penelitian ini dinyatakan valid.



Gambar 4. 26 Validasi Model

Perbandingan antara model dengan sistem nyata merupakan perbandingan statistik dan perbedaan didalam performans harus diuji untuk signifikannya statistik. Perbandingan ini tidak bisa dilakukan dengan sederhana, karena performa yang diukur menggunakan simulasi didasarkan pada periode waktu yang sangat lama (beberapa tahun). Sedangkan kinerja yang diukur pada sistem nyata sebaliknya yaitu didasarkan pada periode waktu singkat.

Teknik untuk memeriksa konsistensi keluaran model terhadap data aktual dapat dilakukan dengan uji statistik dan perbandingan secara visual (grafik) keluaran model dengan data aktual (Handoko 2005). Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan rata-rata absolut dari kesalahan terhadap prediksi model.

MAPE < 5% : Sangat tepat

5% < MAPE < 10% : Tepat

MAPE > 10% : Tidak Tepat

Didapatkan nilai MAPE nilai DO pada segmen 1 hingga segmen 3 kurang dari 10%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai dari model ini sudah tepat. Nilai MAPE ditunjukkan pada Tabel 4.7 – 4.9.

Tabel 4. 6 MAPE DO Segmen 1 Tahun 2017

Bulan	Forecast (F) DO1 (mg/l)	Actual (A) DO1 (mg/l)	Akura si	A-F	A- F	Error (%)
1	4.91	5.1	96.28	0.19	0.19	3.72
2	4.88	4.2	116.20	-0.68	0.68	16.20
3	4.84	3.8	127.24	-1.04	1.04	27.24
4	4.77	5.1	93.57	0.33	0.33	6.43
5	4.69	4.9	95.81	0.21	0.21	4.19
6	4.60	4.7	97.97	0.10	0.10	2.03

7	4.50	5	90.01	0.50	0.50	9.99
8	4.38	4.8	91.28	0.42	0.42	8.72
9	4.25	4.4	96.56	0.15	0.15	3.44
10	4.11	4.4	93.32	0.29	0.29	6.68
11	3.95	3.7	106.74	-0.25	0.25	6.74
12	3.78	4.7	80.33	0.92	0.92	19.67
MAPE						9.59

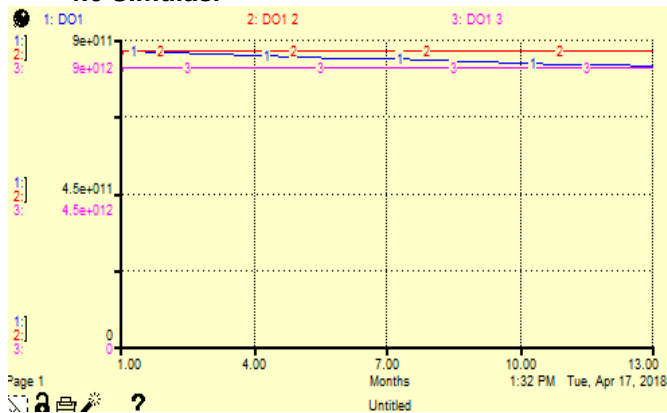
Tabel 4. 7 MAPE DO Segmen 2 Tahun 2017

Bulan	Forecast (F) DO1 (mg/l)	Actual (A) DO1 (mg/l)	Akura si	A-F	A- F	Error (%)
1	4.44	4.6	96.62	0.16	0.16	3.38
2	4.43	4.2	105.53	-0.23	0.23	5.53
3	4.42	4.1	107.81	-0.32	0.32	7.81
4	4.41	4.8	91.88	0.39	0.39	8.12
5	4.40	4.9	89.76	0.50	0.50	10.24
6	4.38	4.9	89.48	0.52	0.52	10.52
7	4.37	5.1	85.71	0.73	0.73	14.29
8	4.36	4.9	88.96	0.54	0.54	11.04
9	4.35	4.4	98.81	0.05	0.05	1.19
10	4.34	4.7	92.32	0.36	0.36	7.68
11	4.33	3.8	113.94	-0.53	0.53	13.94
12	4.32	4.7	92.00	0.38	0.38	8.00
MAPE						8.5

Tabel 4. 8 MAPE DO Segmen 3 Tahun 2017

Bulan	Forecast (F) DO1 (mg/l)	Actual (A) DO1 (mg/l)	Akura asi	A-F	A- F	Error (%)
1	4.70	4.9	95.86	0.20	0.20	4.14
2	4.68	4.65	100.6	-0.03	0.03	0.66
3	4.65	4.65	99.99	0.00	0.00	0.01
4	4.60	4.75	96.92	0.15	0.15	3.08
5	4.54	4.8	94.65	0.26	0.26	5.35
6	4.47	4.7	95.05	0.23	0.23	4.95
7	4.38	4.8	91.20	0.42	0.42	8.80
8	4.27	5.1	83.78	0.83	0.83	16.22
9	4.15	3.75	110.7	-0.40	0.40	10.78
10	4.02	4.5	89.38	0.48	0.48	10.62
11	3.88	4.3	90.13	0.42	0.42	9.87
12	3.72	4.4	84.45	0.68	0.68	15.55
MAPE						7.50

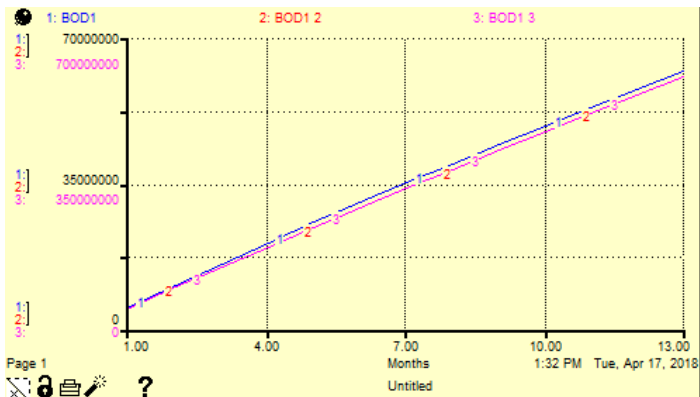
4.6 Simulasi



Gambar 4. 27 Simulasi Parameter DO

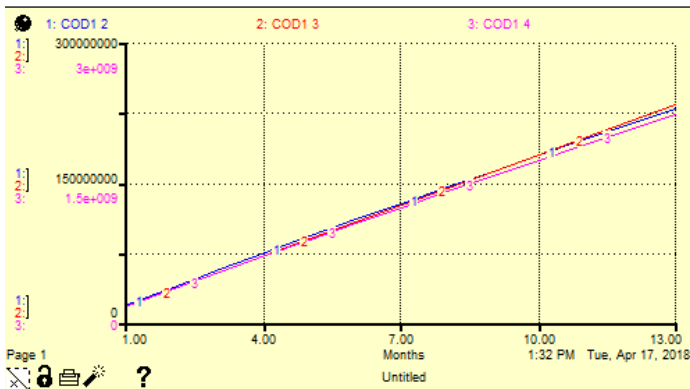
Hasil model dari parameter DO pada Gambar 4.25 menunjukkan bahwa DO di ketiga segmen terlihat masih tinggi. Pada segmen 2 terlihat nilai DO paling tinggi dibanding segmen 1 dan segmen 3. Hal ini dapat terjadi karena di segmen 2 diketahui memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibanding dengan segmen lainnya. Pada sungai dengan kecepatan aliran yang tinggi, oksigen pada lapisan permukaan air akan cepat mengalami pertukaran dengan lapisan bagian bawah. Pertukaran tersebut terjadi karena adanya perputaran pada pergerakan aliran sungai. Oksigen terlarut (DO) memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Pada Gambar 4.25 dapat dilihat bahwa nilai DO di segmen 3 paling rendah dibandingkan dengan segmen 1 dan segmen 2, hal ini dapat disebabkan karena banyaknya limbah organik yang berasal dari limbah domestik dan limbah industri yang masuk kedalam sungai mengandung banyak materi *biodegradable*. Hal ini menyebabkan kebutuhan oksigen akan semakin tinggi, oleh karena itu oksigen terlarut pada sungai akan berkurang dengan cepat. Menurunnya DO menunjukkan bahwa kualitas air Kali Surabaya sudah tercemar, karena besarnya oksigen terlarut di dalam air menunjukkan tingkat kesegaran air. Sehingga apabila kadar oksigen terlarut rendah maka terindikasi telah ada pencemaran oleh zat organik. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyak zat organik yang dapat diuraikan mikroorganisme akan semakin banyak pula oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme.

Hasil model parameter BOD pada Gambar 4.26 menunjukkan bahwa model terlihat semakin naik. Pada Gambar 4.26 menunjukkan bahwa nilai BOD semakin ke hilir akan semakin naik. Menurut Suwari (2011) besaran BOD digunakan sebagai cara untuk mengindikasikan pencemaran organik di perairan. Semakin banyak bahan organik di perairan maka akan semakin besar jumlah oksigen yang dibutuhkan, sehingga nilai BOD semakin besar yang mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran.



Gambar 4. 28 Simulasi Parameter BOD

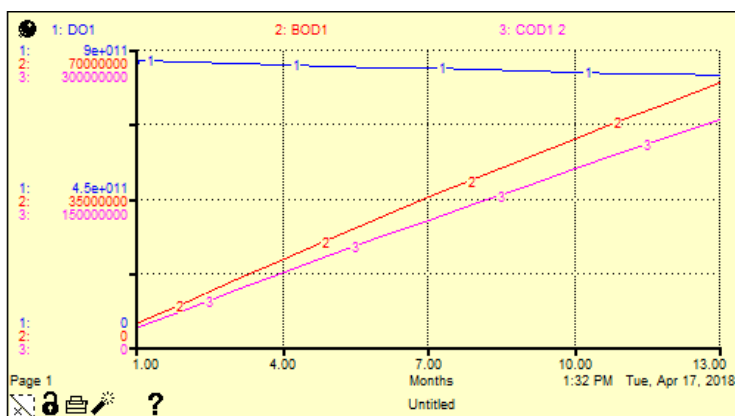
Pada pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa nilai DO yang paling rendah berada di hilir sungai, namun pada penelitian ini semakin ke hilir nilai BOD semakin naik. Hal ini disebabkan karena di setiap titik dapat terjadi buangan organik ke sungai dengan konsentrasi tertentu yang menyebabkan BOD sungai meningkat.



Gambar 4. 29 Simulasi Parameter COD

Hasil model parameter COD pada Gambar 4.27 menunjukkan bahwa model terlihat semakin naik.

Pada Gambar 4.27 menunjukkan bahwa nilai COD semakin ke hilir akan semakin naik. Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) menunjukkan jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar dibiodegradasi secara biologis (*non-biodegradable*). Menurut Alaerts dan Santika (1984), hal ini memperlihatkan bahwa di samping terdapat bahan-bahan pencemar organik yang dapat dibiodegradasi oleh mikroorganisme terdapat juga bahan-bahan yang tidak dapat dibiodegradasi. Hal tersebut diperkuat pendapat Raja *et al.* (2008), yang menyatakan bahwa nilai COD yang lebih tinggi dari nilai BOD mengindikasikan keberadaan bahan-bahan yang dapat teroksidasi secara kimia terutama adalah bahan-bahan *non-biodegradable*.

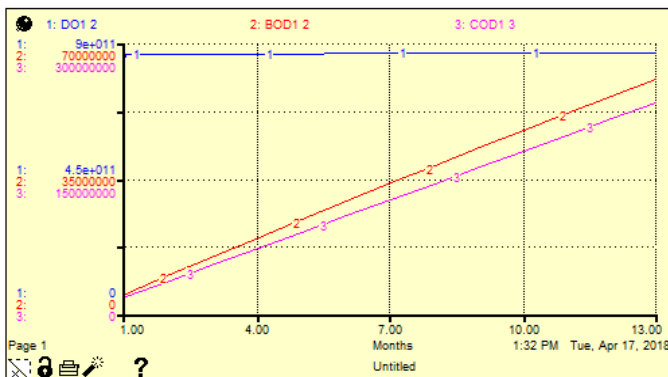


Gambar 4. 30 Simulasi Pada Segmen 1

Perilaku DO mengalami kenaikan diawal kemudian cenderung mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.28 diatas. Sedangkan untuk parameter BOD dan COD mengalami kenaikan sampai di titik terakhir. Ketiga

parameter tersebut telah sesuai dengan logika aktual tiap parameter.

Hasil simulasi pada Gambar 4.28 menunjukkan bahwa kondisi DO pada segmen 1 mengalami penurunan di akhir segmen, lebih tepatnya pada bulan November dan Desember yaitu senilai 3,95 mg/L dan 3,78 mg/L. Hal ini selaras dengan kenaikan BOD dan COD dengan nilai BOD 5,77 mg/L dan 6,27 mg/L serta COD senilai 19,72 mg/L dan 21,42 mg/L. Di sepanjang segmen 1 ini terdapat kegiatan yang menyebabkan turunnya kadar DO pada sungai dikarena banyak masukan limbah-limbah domestik kedalam sungai. Sehingga kadar BOD dan COD naik menyebabkan kadar DO dalam sungai menurun.

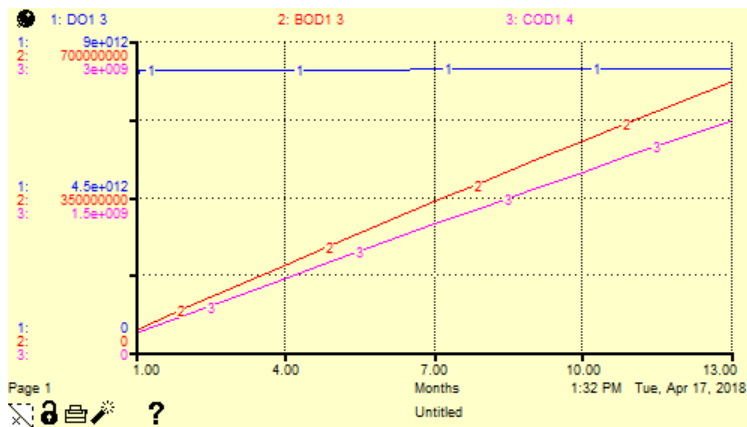


Gambar 4. 31 Simulasi Pada Segmen 2

Sama halnya pada segmen 1 perilaku DO mengalami kenaikan diawal kemudian cenderung mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.29 diatas. Sedangkan untuk parameter BOD dan COD mengalami kenaikan sampai di titik terakhir. Ketiga parameter tersebut telah sesuai dengan logika aktual tiap parameter.

Hasil simulasi pada Gambar 4.29 menunjukkan bahwa kondisi DO pada segmen 2 mengalami penurunan di akhir segmen, lebih tepatnya pada bulan November dan Desember

yaitu senilai 4.33 mg/L dan 4.32 mg/L. Hal ini selaras dengan kenaikan BOD dan COD dengan nilai BOD 5,18 mg/L dan 5,64 mg/L serta COD senilai 18,81 mg/L dan 20,46 mg/L. Di sepanjang segmen 2 ini terdapat kegiatan yang menyebabkan turunnya kadar DO pada sungai karena banyak masukan limbah-limbah domestik kedalam sungai. Sehingga kadar BOD dan COD naik menyebabkan kadar DO dalam sungai menurun. Pada segmen 2 lebih rendah dari segmen 1 kadar BOD dan COD hal ini dikarenakan di segmen 2 memiliki kecepatan aliran yang lebih besar dibanding dengan segmen 1. Hal ini mengakibatkan oksigen jenuh akan dengan cepat bercampur dengan seluruh aliran sungai untuk menyuplai kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme.



Gambar 4. 32 Simulasi Pada Segmen 3

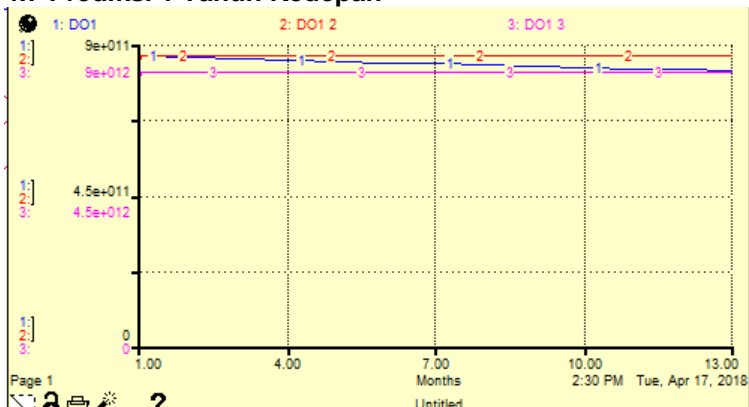
Sama dengan segmen sebelumnya, perilaku DO mengalami kenaikan diawal kemudian cenderung mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.30 diatas. Sedangkan untuk parameter BOD dan COD mengalami kenaikan sampai di titik terakhir. Ketiga parameter tersebut telah sesuai dengan logika aktual tiap parameter.

Hasil simulasi pada Gambar 4.30 menunjukkan bahwa kondisi DO pada segmen 3 mengalami penurunan di akhir segmen, lebih tepatnya pada bulan November dan Desember yaitu senilai 3,88 mg/L dan 3,72 mg/L. Hal ini selaras dengan kenaikan BOD dan COD dengan nilai BOD 5,69 mg/L dan 6,21 mg/L serta COD senilai 19,72 mg/L dan 21,42 mg/L. Di sepanjang segmen 3 ini terdapat kegiatan yang menyebabkan turunnya kadar DO pada sungai karena banyak masukan limbah-limbah domestik kedalam sungai. Sehingga kadar BOD dan COD naik menyebabkan kadar DO dalam sungai menurun.

Di sepanjang segmen 3 ini terdapat kegiatan yang menyebabkan turunnya kadar DO pada sungai karena banyak masukan limbah-limbah domestik kedalam sungai. Sehingga kadar BOD dan COD naik menyebabkan kadar DO dalam sungai menurun. Pada segmen ini diketahui pada bulan November dan Desember terjadi kenaikan BOD dan COD serta penurunan DO. Hal ini dapat terjadi karena pada bulan hujan dapat terjadi resuspensi yang akan mengakibatkan kekeruhan pada air meningkat dan akan meningkatkan kadar BOD, sehingga apabila kadar BOD meningkat menyebabkan kadar DO menurun.

Berdasarkan hasil simulasi diatas diketahui apabila nilai DO di suatu perairan tinggi dapat disebabkan karena nilai BOD dan COD rendah, begitu juga sebaliknya.

4.7 Prediksi 1 Tahun Kedepan



Gambar 4. 33 Model Prediksi DO tahun 2018

Didalam model ini DO yang digunakan sebagai parameter untuk prediksi, karena nilai DO mempengaruhi nilai BOD dan COD pada sungai.

Seperti yang dikatakan Hasanah (2016) salah satu indikator kesehatan sungai yang perlu diperhatikan yaitu indikator DO. DO mencerminkan kemampuan badan air dalam menyesuaikan diri kehadiran beban pencemar sehingga DO dijadikan sebagai syarat bagi ketersediaan pangan dalam ekosistem perairan dan faktor pembatas atau pengatur utama bagi kesehatan dan keberlangsungan hidup organisme perairan. Oksigen terlarut dalam suatu perairan yang dapat dinyatakan sebagai jumlah oksigen dalam jumlah air tertentu yang akan dimanfaatkan oleh organisme air untuk pernapasan, reproduksi dan kesuburan. Kadar DO memberikan tanda bahwa air tersebut masih segar atau tidak untuk memenuhi kebutuhan. Kadar DO biasanya berasal dari hasil penguraian zat-zat organik dalam air yaitu dibebaskannya gas-gas berbau busuk yang dapat membahayakan kesehatan.

Pada model ini dapat digunakan untuk memprediksi DO pada tahun 2018. Data yang digunakan sebaiknya menggunakan

data primer yang memenuhi *time series* dan memiliki tingkat validasi yang tinggi.

Hasil prediksi nilai DO untuk satu tahun kedepan (2018) dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4. 9 Prediksi DO Kali Surabaya Tahun 2018

DO1 (mg/l)	DO2 (mg/l)	DO3 (mg/l)
4.91	4.44	4.70
4.88	4.43	4.68
4.83	4.42	4.65
4.77	4.41	4.60
4.70	4.40	4.54
4.61	4.39	4.47
4.51	4.38	4.38
4.39	4.37	4.27
4.26	4.36	4.16
4.12	4.35	4.02
3.96	4.35	3.88
3.79	4.34	3.72

Dengan memasukkan data tahun 2016-2017 dapat diprediksi parameter DO untuk satu tahun kedepan yaitu tahun 2018 seperti yang terlihat pada tabel 4.10. Dari hasil prediksi dapat dilihat bahwa pada tahun 2018 di ketiga segmen mengalami penurunan kadar DO. Pada bulan Desember tahun 2018 diketahui konsentrasi DO di segmen 1 sebesar 3,79 mg/L segmen 2 sebesar 4,34 mg/L dan segmen 3 sebesar 3,72 mg/L.

Menurut Peraturan Gubernur No.61 tahun 2010 diketahui bahwa Kali Surabaya termasuk kedalam sungai kelas II. Menurut hasil prediksi dari model ini nilai DO di segmen 1 dan 3 pada bulan November dan Desember masih melebihi

baku mutu sungai kelas II yaitu sebesar 4 mg/L. Sedangkan pada segmen 2 keseluruhan, serta segmen 1 dan 3 pada bulan Januari hingga Oktober memenuhi baku mutu DO air sungai kelas II. DO Kali Surabaya pada tahun 2018 berkisar antara 3,72-4,9 mg/L.

Setelah dilakukan simulasi eksisting maupun prediksi satu tahun kedepan di dapatkan status mutu Kali Surabaya tercemar.

4.8 Upaya Pengendalian Pencemaran

4.8.1 Penentuan Status Mutu Air dengan IP

IP dapat dihitung setelah semua parameter pencemar air Kali Surabaya dianalisa. Metode IP nilai setiap parameter dibandingkan dengan baku mutunya. Hasil perhitungan IP disajikan pada Lampiran D Tabel LD1-Tabel LD.4. Hasil dari perhitungan menunjukan IP Kali Surabaya sepanjang segmen penelitian relatif sama yaitu berstatus tercemar ringan. Hal ini dikarenakan skor IP yang berada pada rentang $1,0 < PI_j \leq 5,0$.

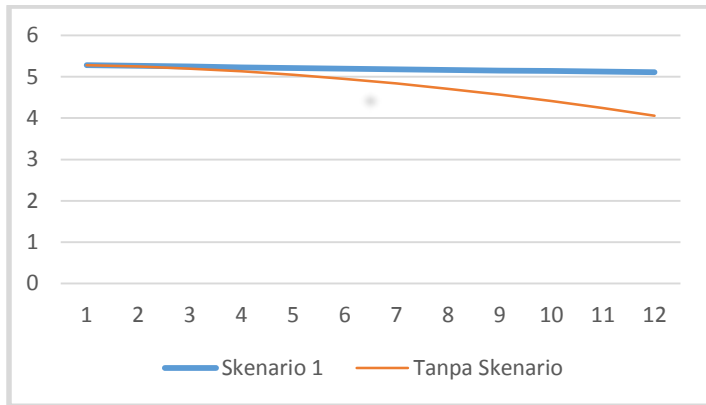
Tabel 4. 10 Nilai Satatus Mutu Kali Surabaya

No	Lokasi Pemantauan	Nilai PI_j	Status Mutu Air
1	Titik Pantau 1	1,90	Cemar ringan
2	Titik Pantau 2	1,76	Cemar ringan
3	Titik Pantau 3	1,63	Cemar ringan
4	Titik Pantau 4	1,95	Cemar ringan

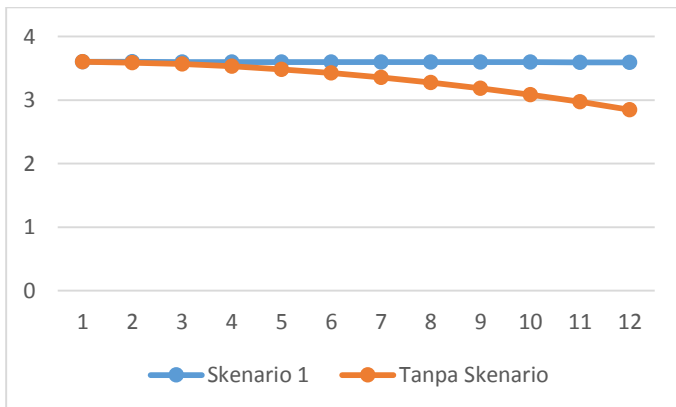
Berdasarkan status mutu diatas maka perlu dilakukan upaya pengendalian pencemaran. Upaya atau strategi

pengendalian pencemaran dapat dilakukan dengan menerapkan Skenario dua sebagai berikut.

Skenario 1 pada segmen 1 dan segmen 3 tidak terdapat buangan BOD dan COD dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan 4.35.

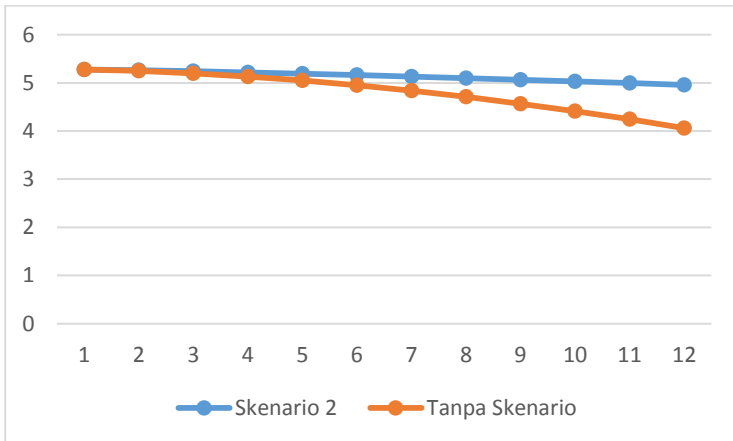


Gambar 4. 34 Skenario 1 Segmen 1

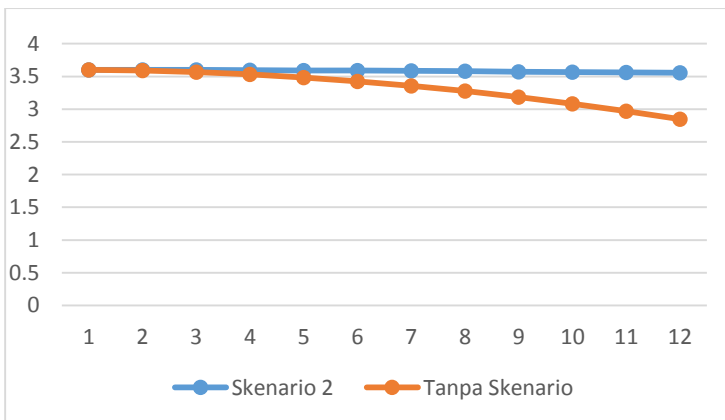


Gambar 4. 35 Skenario 1 Segmen 3

Terlihat pada Gambar 4.34 dan 4.35 diketahui nilai DO setelah dilakukan skenario 1 pada kedua segmen tidak mengalami penurunan. DO pada kedua segmen setelah di skenario cenderung stabil, hal ini berarti menunjukkan bahwa skenario 1 dapat digunakan sebagai salah satu upaya pengendalian Kali Surabaya.



Gambar 4. 36 Skenario 2 Segmen 1



Gambar 4. 37 Skenario 2 Segmen 3

Skenario 2 pada segmen 1 dan segmen 3 dilakukan dengan penggunaan IPAL, dapat dilihat pada Gambar 4.36 dan 4.37 diketahui nilai DO setelah dilakukan skenario 2 pada kedua segmen tidak mengalami penurunan. DO pada kedua segmen setelah di skenario cenderung stabil, hal ini berarti menunjukkan bahwa skenario 2 dapat digunakan sebagai salah satu upaya pengendalian Kali Surabaya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Didapatkan nilai parameter DO, BOD dan COD di Kali Surabaya pada segmen Karangpilang – Ngagel dengan sistem dinamis menggunakan metode Stella yaitu DO 4,4 mg/L BOD 3,3 mg/L dan COD 19,57 mg/L
2. Pada tahun 2017 nilai DO 4,4 mg/L BOD 4,76 mg/L dan COD 18,9 mg/L. Diprediksi pada tahun 2018 nilai DO menurun sebanyak 8,5% yaitu 3,72 mg/L, nilai BOD dan COD meningkat sebanyak 23,35% dan 11,76% yaitu 6,21 mg/L dan 21,42 mg/L dan status mutu Kali Surabaya pada segmen Karangpilang – Ngagel sudah tercemar.
3. Pengendalian Kali Surabaya dilakukan dengan mengontrol buangan limbah ke sungai yang dapat menaikkan nilai DO sebesar 3,4% dari 3,3 mg/L menjadi 3,9 mg/L, dengan pengadaan sebuah IPAL pada segmen satu dapat menaikkan nilai DO sebesar 4,1% dari 4,8 mg/L menjadi 5,2 mg/L dan sebuah IPAL pada segmen tiga dapat menaikkan nilai DO sebesar 3,2% dari 3,3 mg/L menjadi 3,6 mg/L.

5.2 Saran

1. Pada penelitian dengan model dinamik diperlukan data primer dan sekunder yang benar-benar valid dan tidak terlalu banyak memiliki nilai yang ekstrim pada sungai.
2. Sebaiknya mencari data primer dalam jangka waktu yang lama agar dapat dibandingkan dengan data sekunder apabila data sekunder terdapat nilai yang ekstrim.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

- Abowei JFN, George ADI. 2009. **Some Physical and Chemical Characteristics in Okpoka Creek, Niger Delta, Nigeria**. Research Journal of Environmental and Earth Sciences 1(2):45-53.
- Adeyemo, O., Adedokun, O., Yusuf RK, Adeleye EA. 2008. **Seasonal Change in Physico-Chemical Parameters and Nutrient Load of River Sediments in Ibadan City, Nigeria**. Global Nest Journal 10(3):326-336.
- Agustira, R., Lubis, K., dan Jamilah. 2013. **Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai Pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka**. Jurnal Online Agroekoteknologi, 1(3).
- Akan, J., Abdulrahman FI, Yusuf E. 2010. **Physical and Chemical Parameters in Abattoir Wastewater Sample, Maiduguri Metropolis, Nigeria**. The Pacific Journal of Science and Technology 11(1): 640-648.
- Alaerts G, Santika S. 1984. **Metode Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Kota Surabaya. 2006. **Status Lingkungan Hidup Kota Surabaya 2006**. Surabaya: Penerbit Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Kota Surabaya.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. **SNI 6989.57:2008 tentang Air dan Air Limbah—Bagian 57: Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan**.
- Chapra, S., (1997). **Surface Water Quality Modeling**. Toronto: McGraw-Hill, Singapore.

- Deaton, M., and Winebrake, J., (2012). **Dynamic Modeling of Environmental Systems**. Springer Science & Business Media.
- ElSawah, S., Haase, D., Delden, H. v., Pierce, S., ElMahdi, A., Voinov, A. A., Jakeman, A. J. (2012). **"Using system dynamics for environmental modelling: Lessons learnt from six case studies "**. *2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting*. Leipzig, Germany International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)
- Eriyatno. 2003. **Ilmu Sistem: Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen**. Bogor: IPB Press
- Faizal, A dan Desy A. 2015. **Waspada Pencemaran Kali Surabaya Saat Musim Libur Lebaran**. Surabaya
- Fuchs, H. (2006). **"System Dynamics Modeling In Science and Engineering"**. *System Dynamics Conference at the University of Puerto Rico Resource Center for Science and Engineering*. Mayaguez.
- Gazali, I., Widiatmono, R. B., dan Wirosoedarmo, R. 2013. **Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klintar Kabupaten Nganjuk**. Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem, 1(2), hal.1-8.
- Handoko I. 2005. **Quantitative Modeling of System Dynamics for Natural Resources Management**. Bogor: SEAMEO BIOTROP.
- Hartrisari. 2007. **Sistem Dinamik: Konsep Sistem dan Pemodelan untuk Industri dan Lingkungan**. Bogor: SEAMEO BIOTROP

- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2010. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.**
- Muhammadi, Aminullah E, Soesilo B. 2001. **Analisis Sistem Dinamis: Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen.** Jakarta : Penerbit UMJ Press
- Neto, A. d. C. L., Legey, L. F. L., Araya, M. C. G., Jablonski, S. (2006). **"A System Dynamics Model for the Environmental Management of the Sepetiba Bay Watershed, Brazil". *Environmental Manage.* 38. 879-888.**
- Pemerintah Kota Surabaya. 2011. **Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya Tahun 2011**
- Pemerintah Kota Surabaya. 2010. **Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Surabaya Tahun 2010-2015.**
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. **Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Kualitas dan Pengendalian Pencemaran Air.**
- Pemerintah Republik Indonesia. 2004. **Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.**
- Rahayu S, Tontowi. 2005. **Penelitian Kualitas Air Sungai di Lokasi-Lokasi Alamiah dalam Rangka Pemanfaatan Air dan Kajian Terhadap Kriteria Mutu Air yang Berlaku.** Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan 19(55):31-38.
- Raja P, Amarnath AM, Elangovan R, Palanivel M. 2008. **Evaluation of Physical and Chemical Parameters of River Kaveri, Tiruchirappali, Tamil Nadu, India.** Journal of Environmental Biology 29(5):765-768.
- Reynolds, T.D., and Richards, P.A. 1996. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd ed.** Boston, MA : PWS Publishing Company.

- Ryu, J. H., Contor, B., Johnson, G., Allen, R., & Tracy, J. (2012). **System Dynamics to Sustainable Water Resources Management in the Eastern Snake Plain Aquifer Under Water Supply Uncertainty**. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 48(6), 1204-122-, doi:10.1111/j-1752-1688.2012.00681.x.
- Siradz SA, Harsono ES, Purba I. 2008. **Kualitas Air Sungai Code, Winongo dan Gajahwong, Daerah Istimewa Yogyakarta**. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan 8(2):121-125.
- Sunaryo TM, Walujo TS, Harnanto A. 2007. **Pengelolaan Sumber Daya Air Konsep dan Penerapannya**. Malang: Bayumedia Publishing.
- Shusil. (1992). **Pengenalan Metodologi Sistem Dinamik**, Bahan Kuliah Pemodelan Teknik Lingkungan, ITS.
- Suwari, Ety R, Bambang P. 2011. **Model Dinamik Pengendalian Pencemaran Air Kali Surabaya**. Jurnal Bumi Lestari, 11(2), 234–248.
- Syafi'i, M dan Ali M. 2011. **Aplikasi Model Simulasi Komputer QUAL2Kw pada Studi Pemodelan Kualitas Air Kali Surabaya**. Jawa Timur. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. 2014. **Wastewater Engineering Fifth Edition**. New York: Mc Graw-Hill Education
- Thomann, R.V. (1987). **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control**. New York: McGraw-Hill.
- Thornton, 2001. **Pollutant in Urban Waste Water and Sewage Sludge**. European Communities. Luxembourg.

Yuan, H. (2012). **“A model for evaluating the social performance of construction waste management”**. *Waste Management* 32, 1218-1228.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN A DATA SEKUNDER

Tabel LA. 1 Titik Sampling Karangpilang

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
1	30.2	7.28	3.9	8.09	25.11
2	29.5	7.12	3.9	6.67	20.57
3	29.5	7.19	4	4.06	13
4	29.1	7.265	2.9	11.485	41.315
5	29.45	7.42	3.75	3.815	15.99
6	29.4	7.315	3.9	6.66	26.675
7	32.7	6.99	4.05	6.66	28.935
8	30.15	7.175	3.3	4.985	18.515
9	30.1	6.94	4.75	2.685	16.085
10	30.2	7.145	4.6	11.32	46.535
11	29.65	7.135	3.6	3.87	21.37
12	28.2	6.95	4.15	7.675	32.67
13	31	7.3	4.75	5.345	21.04
14	27.65	6.425	4.7	6.11	42.145
15	28.45	6.71	4.75	4.34	22.825
16	29.25	7.38	4.55	5.7	28.965
17	30	7.38	4.55	6.455	23.14
18	28.4	7.13	4.4	4.7	22.98
19	27.9	6.7	4.7	4.41	20.5
20	29.05	7.045	5.05	3.66	23.705
21	29.2	7.525	3.8	3.525	17.62
22	28.95	7.105	4.55	6.915	25.19

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
23	29.35	6.825	3.85	6.875	25.925
24	28.5	6.795	4.7	4.135	19.615

Tabel LA. 2 Titik Sampling Sepanjang

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
1	30	7.7	3.5	4.44	26.4
2	28.9	7.1	3.8	5.56	24.6
3	28.7	6.9	3.8	3.52	9.85
4	29.9	7	4.5	4.57	22.2
5	31.8	6.9	3.5	1.99	15.2
6	31	7.3	3.2	4.76	19.8
7	32.5	7	3.8	8.69	22.7
8	29.5	7.4	3.6	6.98	20.8
9	30.2	7	4.8	4.3	21.2
10	30.7	7	4.2	5.73	35.3
11	29.1	7	5.5	3.64	15.3
12	28.4	6.8	3.6	9.61	47.1
13	30.1	7.5	5.1	3.88	18.2
14	29.5	7.2	4.2	9.62	46
15	29	7.2	3.8	4.61	23.6
16	29.2	7.4	5.1	5.17	25.2
17	30.2	7.4	4.9	4.17	18.8
18	30.8	6.7	4.7	6.77	29.8
19	28.8	6.6	5	3.67	18.4
20	27.7	7.1	4.8	6.11	35.1
21	31	7.8	4.4	3.75	19

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
22	30.7	7.3	4.4	7.34	28.1
23	30.7	7.2	3.7	3.77	19.6
24	30.1	7.1	4.7	3.55	12.7

Tabel LA. 3 Titik Sampling Gunungsari

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
1	29.8	7.6	3.4	5.25	33.5
2	29.1	7.1	3.5	4.48	24.7
3	29.4	6.9	3.5	2.95	8.9
4	29.8	7	5.3	7.16	35.2
5	31.6	7	3.5	2.72	15.8
6	31	7.2	3	4.87	27.4
7	32.8	7	4	9.22	38.7
8	29.3	7.4	3.4	3.63	14.2
9	31.2	7.1	4.7	3.38	18.7
10	30.6	7.1	4.5	6.89	29.3
11	29.5	6.9	5.8	3.6	15.5
12	28.6	6.9	3.6	4.34	19.3
13	29.9	7.4	4.6	3.6	13
14	31.2	7	4.2	8.93	40.6
15	29	7.2	4.1	3.12	14.7
16	29.6	7.3	4.8	3.17	11.3
17	30.4	7.4	4.9	4.39	20.8
18	30.8	6.7	4.9	3.97	20.5

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
19	29.9	6.8	5.1	5.08	27.4
20	29.1	7.2	4.9	7.57	32.3
21	30.5	7.8	4.4	3.57	17.6
22	33.1	7.3	4.7	7.84	31.1
23	32.1	7.3	3.8	2.6	11.8
24	30.2	7.2	4.7	4.2	17.7

Tabel LA. 4 Titik Sampling Ngagel

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
1	31	7.225	4.2	4.47	21.12
2	29.4	7.15	3.65	6.895	25.405
3	29	7.185	4.2	5.29	22.48
4	29.15	7.075	4.05	6.54	36.55
5	30.5	7.25	3.7	5.55	16.145
6	29.45	7.27	4.2	5.26	22.22
7	32.3	7.205	3.5	6.83	33.385
8	30.15	7.235	3.3	4.54	18.04
9	30.8	7.005	4.55	3.345	19.775
10	29.85	7.115	4.4	14.07	54.645
11	29.3	6.915	3.45	7.095	27.715
12	28.1	6.975	4.35	6.44	25.175
13	30.15	7.23	4.9	6.095	22.57
14	27.7	6.79	4.65	6.84	47.845
15	28.6	6.675	4.65	4.62	23.24
16	29.3	7.345	4.75	6.145	4.2
17	30.3	7.11	4.8	4.995	25.025

NO	TEMP (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
18	29.8	7.115	4.7	5.4	25.245
19	28.75	6.78	4.8	5.005	21.735
20	29.3	6.88	5.1	4.075	22.005
21	29.8	7.565	3.75	4.035	20.34
22	30.4	7.155	4.5	7.32	26.14
23	29.9	6.82	4.3	5.63	19.49
24	28.7	6.79	4.4	4.76	18.9

LAMPIRAN B
PEMBUATAN REAGEN DAN PROSEDUR
ANALISIS DAN HASIL SAMPLING

A. ALAT DAN BAHAN UNTUK PENGAMBILAN SAMPEL AIR

1. Botol *winkler* dan botol plastik untuk menyimpan sampel agar tidak ada kontaminan dan oksigen yang masuk ke dalam botol
2. Bahan kimia yang untuk pengawetan sampel. Bahan kimia untuk pengawetan yang digunakan adalah MnSO_4 dan pereaksi oksigen. MnSO_4 yang ditambahkan akan mengoksidasi sampel pada keadaan alkalis, sehingga terjadi endapan Mn(OH)_2 . Oksigen akan dioksidasi menjadi endapan MnO_2 . Penambahan pereaksi oksigen maka akan membebaskan iodine yang jumlahnya ekuivalen dengan oksigen terlarut.
3. Box pendingin digunakan untuk menyimpan sampel.
4. Kamera sebagai alat untuk mendokumentasikan kegiatan sampling.
5. Tali untuk membantu proses sampling
6. Ember plastik untuk mengambil air dari Kali Surabaya
7. Meter Digital untuk mengukur panjang

B. PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan:

1. Larutan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N
2. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
3. Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
4. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroind)
6. Erlenmeyer 250 mL 2 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
8. Alat refluks dan pemanasnya
9. Pipet 5 mL, 10 mL
10. Pipet tetes 1 buah

11. Beker glass 50 mL, 1 buah
12. Gelas ukur 25 mL, 1 buah

Prosedur Analisis:

1. Masukkan 0,4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer.
2. Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blangko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
3. Tambahkan 10 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N.
4. Tambahkan 25 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Alirkan pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin.
10. Titrasikan kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah-coklat.
11. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol Sampel}} \times P$$

Keterangan:

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

P : pengenceran

Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan:

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan Magnesium sulfat
3. Larutan Kalium Klorida
4. Larutan Feri Klorida

5. Bubuk inhibitor nitrifikasi
6. Benih inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 ml air
7. Larutan mangan sulfat
8. Larutan pereaksi oksigen
9. Indikator amilum 0,5%
10. Asam sulfat pekat
11. Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
12. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
13. Drum atau ember untuk air pengencer
14. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
15. Botol winkler 300 mL dan botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah
16. Inkubator suhu 20°C
17. Pipet 10 ml dan 5 ml
18. Gelas ukur 100 ml 1 buah
19. Buret 25 ml atau 50 ml
20. Erlenmeyer 250 ml 1 buah

Prosedur Analisis:

a. Pembuatan Larutan Pengencer

Air pengencer tergantung banyak sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan 1 ml larutan buffer fosfat per liter
2. Tambahkan 1 ml larutan magnesium sulfat per liter
3. Tambahkan 1 ml larutan kalium klorida per liter
4. Tambahkan 1 ml larutan feri klorida per liter
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
6. Aerasi minimal 2 jam
7. Tambahkan 1 ml larutan benih per liter air

b. Prosedur BOD

Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{5}$$

Prosedur BOD dengan winkler

1. Siapkan 1 buah labu ukur 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol winkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 300 ml dan 150 ml
3. Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
4. Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
5. Masukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam incubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol winkler 150 ml yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 ml larutan mangan sulfat
 - Tambahkan 1 ml larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali
 - Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit
 - Tambahkan 1 ml asam sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 ml larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
 - Titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut.
8. Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{ml\ sampel}{volume\ hasil\ pengenceran\ (500ml)}$$

Keterangan:

X₀ : DO sampel pada t = 0

X₅ : DO sampel pada t = 5

B₀ : DO blanko pada t = 0

B₅ : DO blanko pada t = 5

P : derajat pengenceran

Analisis DO (*Dissolved Oxygen*)

Alat dan Bahan

1. Larutan mangan sulfat (MnSO₄)
2. Larutan pereaksi oksigen
3. Larutan asam sulfat (H₂SO₄) pekat
4. Larutan indikator amilum 1 %
5. Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
6. Botol winkler 150 mL 1 buah
7. Gelas ukur 100 mL 1 buah
8. Erlenmeyer 250 mL 1 buah
9. Buret 25 mL 1 buah
10. *Beaker glass* 50 mL 1 buah
11. Pipet 5 mL dan 10 mL
12. Pipet tetes 1 buah

Prosedur Analisis:

1. Mengambil sampel langsung dengan cara memasukkan botok *winkler* 150 ml ke dalam air sampai botol *winkler* penuh selanjutnya tutup botol
2. Menambahkan 1 ml MnSO₄
3. Menambahkan 1 ml pereaksi oksigen
4. Menutup botol *winkler* dengan hati-hati kemudian mengocoknya beberapa kali
5. Membiarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit
6. Menambahkan 1 ml H₂SO₄ pekat kemudian menutup botol dan mengocoknya kembali
7. Menuangkan 100 ml larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
8. Menambahkan 3 tetes indikator amilum
9. Titrasi larutan dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai warna biru hilang menjadi bening

10. Menghitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus:

$$\text{DO (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan:

a : volume titran (mL)

N : normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N)

100 mL : volume sampel yang digunakan dalam titrasi

HASIL SAMPLING

Tabel LB. 1 Kedalaman Sungai

No	Karangpilang (m)	Sepanjang (m)	Gunungsari (m)	Ngagel/Jagir (m)
1	0.5	2.6	2.2	1.5
2	0.9	2.7	2.6	1.8
3	1.3	2.8	2.4	2.3
4	1.8	3.0	2.5	2.4
5	2.1	3.2	2.6	2.5
6	2.3	3.4	2.7	3.1
7	2.4	3.6	2.8	3.2
8	2.6	3.8	2.9	3.4
9	2.8	3.9	3.0	3.5
10	2.9	4.1	4.4	3.5
11	3.0	4.0	4.7	3.3
12	3.3	3.8	5.0	3.4
13	3.4	3.6	5.5	3.6
14	3.8	3.5	5.7	3.5
15	3.9	3.4	6.1	3.2
16	3.8	3.6	5.8	3.8
17	4.1	3.7	5.6	3.9
18	4.0	3.3	5.5	4.5
19	4.8	3.0	5.2	4.2
20	4.5	3.5	5.1	4.4
21	4.7	3.3	4.7	4.0
22	4.6	3.2	4.3	4.5
23	4.3	3.3	4.1	4.7
24	3.8	3.0	3.6	4.8
25	4.4	3.1	3.3	4.9

No	Karangpilang (m)	Sepanjang (m)	Gunungsari (m)	Ngagel/Jagir (m)
26	4.3	2.9	3.0	5.0
27	4.7	3.1	2.8	5.1
28	4.6	2.9	2.7	5.2
29	4.0	3.1	2.5	5.3
30	4.3	2.9	2.1	5.2
31	4.1	3.1		5.4
32	3.9	2.8		5.1
33	3.7	2.9		4.7
34	3.5	3.0		4.4
35	3.0	2.8		4.1
36	2.9			3.8
37	2.5			3.4
38	2.2			2.8
39	1.5			2.2
40	1.1			2.1

Tabel LB. 2 Luas Penampang Basah Titik Karangpilang

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
1	1.07	0.00	0.5	0.266
2	2.13	1.07	0.9	0.479
3	3.20	2.13	1.3	0.692
4	4.26	3.20	1.8	0.959
5	5.33	4.26	2.1	1.118
6	6.39	5.33	2.3	1.225
7	7.46	6.39	2.4	1.278
8	8.52	7.46	2.6	1.385

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
9	9.59	8.52	2.8	1.491
10	10.65	9.59	2.9	1.544
11	11.72	10.65	3	1.598
12	12.78	11.72	3.3	1.757
13	13.85	12.78	3.4	1.811
14	14.91	13.85	3.8	2.024
15	15.98	14.91	3.9	2.077
16	17.04	15.98	3.8	2.024
17	18.11	17.04	4.1	2.183
18	19.17	18.11	4	2.130
19	20.24	19.17	4.8	2.556
20	21.30	20.24	4.5	2.396
21	22.37	21.30	4.7	2.503
22	23.43	22.37	4.6	2.450
23	24.50	23.43	4.3	2.290
24	25.56	24.50	3.8	2.024
25	26.63	25.56	4.4	2.343
26	27.69	26.63	4.3	2.290
27	28.76	27.69	4.7	2.503
28	29.82	28.76	4.6	2.450
29	30.89	29.82	4	2.130
30	31.95	30.89	4.3	2.290
31	33.02	31.95	4.1	2.183
32	34.08	33.02	3.9	2.077
33	35.15	34.08	3.7	1.970
34	36.21	35.15	3.5	1.864
35	37.28	36.21	3	1.598

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
36	38.34	37.28	2.9	1.544
37	39.41	38.34	2.5	1.331
38	40.47	39.41	2.2	1.172
39	41.54	40.47	1.5	0.799
40	42.60	41.54	1.1	0.586
A total				69.385

Tabel LB. 3 Luas Penampang Basah Titik Sepanjang

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
1	1.21	0.00	2.6	1.567
2	2.41	1.21	2.7	1.628
3	3.62	2.41	2.8	1.688
4	4.82	3.62	3	1.809
5	6.03	4.82	3.2	1.929
6	7.23	6.03	3.4	2.050
7	8.44	7.23	3.6	2.170
8	9.65	8.44	3.8	2.291
9	10.85	9.65	3.9	2.351
10	12.06	10.85	4.1	2.472
11	13.26	12.06	4	2.411
12	14.47	13.26	3.8	2.291
13	15.67	14.47	3.6	2.170
14	16.88	15.67	3.5	2.110
15	18.09	16.88	3.4	2.050
16	19.29	18.09	3.6	2.170
17	20.50	19.29	3.7	2.231

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
18	21.70	20.50	3.3	1.989
19	22.91	21.70	3	1.809
20	24.11	22.91	3.5	2.110
21	25.32	24.11	3.3	1.989
22	26.53	25.32	3.2	1.929
23	27.73	26.53	3.3	1.989
24	28.94	27.73	3	1.809
25	30.14	28.94	3.1	1.869
26	31.35	30.14	2.9	1.748
27	32.55	31.35	3.1	1.869
28	33.76	32.55	2.9	1.748
29	34.97	33.76	3.1	1.869
30	36.17	34.97	2.9	1.748
31	37.38	36.17	3.1	1.869
32	38.58	37.38	2.8	1.688
33	39.79	38.58	2.9	1.748
34	40.99	39.79	3	1.809
35	42.20	40.99	2.8	1.688
A total				68.665

Tabel LB. 4 Luas Penampang Basah Titik Gunungsari

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
1	1.44	0.00	2.2	1.583
2	2.88	1.44	2.6	1.871
3	4.32	2.88	2.4	1.727
4	5.76	4.32	2.5	1.799

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
5	7.20	5.76	2.6	1.871
6	8.63	7.20	2.7	1.943
7	10.07	8.63	2.8	2.015
8	11.51	10.07	2.9	2.087
9	12.95	11.51	3.0	2.159
10	14.39	12.95	4.4	3.166
11	15.83	14.39	4.7	3.382
12	17.27	15.83	5.0	3.598
13	18.71	17.27	5.5	3.957
14	20.15	18.71	5.7	4.101
15	21.59	20.15	6.1	4.389
16	23.02	21.59	5.8	4.173
17	24.46	23.02	5.6	4.029
18	25.90	24.46	5.5	3.957
19	27.34	25.90	5.2	3.741
20	28.78	27.34	5.1	3.669
21	30.22	28.78	4.7	3.382
22	31.66	30.22	4.3	3.094
23	33.10	31.66	4.1	2.950
24	34.54	33.10	3.6	2.590
25	35.98	34.54	3.3	2.374
26	37.41	35.98	3.0	2.159
27	38.85	37.41	2.8	2.015
28	40.29	38.85	2.7	1.943
29	41.73	40.29	2.5	1.799
30	43.17	41.73	2.1	1.511
A total				83.030

Tabel LB. 5 Luas Penampang Basah Titik Ngagel

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m²)
1	1.01	0.00	1.5	0.759
2	2.03	1.01	1.8	0.911
3	3.04	2.03	2.3	1.164
4	4.05	3.04	2.4	1.215
5	5.06	4.05	2.5	1.266
6	6.08	5.06	3.1	1.569
7	7.09	6.08	3.2	1.620
8	8.10	7.09	3.4	1.721
9	9.11	8.10	3.5	1.772
10	10.13	9.11	3.5	1.772
11	11.14	10.13	3.3	1.671
12	12.15	11.14	3.4	1.721
13	13.16	12.15	3.6	1.823
14	14.18	13.16	3.5	1.772
15	15.19	14.18	3.2	1.620
16	16.20	15.19	3.8	1.924
17	17.21	16.20	3.9	1.974
18	18.23	17.21	4.5	2.278
19	19.24	18.23	4.2	2.126
20	20.25	19.24	4.4	2.228
21	21.26	20.25	4.0	2.025
22	22.28	21.26	4.5	2.278
23	23.29	22.28	4.7	2.379

No.	b (x+1) (m)	b (x-1) (m)	Dx (m)	Ax (m ²)
24	24.30	23.29	4.8	2.430
25	25.31	24.30	4.9	2.481
26	26.33	25.31	5.0	2.531
27	27.34	26.33	5.1	2.582
28	28.35	27.34	5.2	2.633
29	29.36	28.35	5.3	2.683
30	30.38	29.36	5.2	2.633
31	31.39	30.38	5.4	2.734
32	32.40	31.39	5.1	2.582
33	33.41	32.40	4.7	2.379
34	34.43	33.41	4.4	2.227
35	35.44	34.43	4.1	2.076
36	36.45	35.44	3.8	1.924
37	37.46	36.45	3.4	1.721
38	38.48	37.46	2.8	1.418
39	39.49	38.48	2.2	1.114
40	40.50	39.49	2.1	1.063
A total				71.483

Tabel LB. 6 Pengukuran Kecepatan Tanggal 7 Maret 2018

3/7/2018	Jarak A-B (m)	T1 (detik)	T2 (detik)	T3 (detik)	V1 (m/detik)	V2 (m/detik)	V3 (m/detik)	V rata- rata (m/detik)
Karangpilang	2.39	4.46	3.7	4.43	0.5359	0.6459	0.5395	0.5738
Sepanjang	3.01	5.84	5.38	5.62	0.5154	0.5595	0.5356	0.5368
Gunungsari	2.3	3.91	4.2	5.17	0.5882	0.5476	0.4449	0.5269
Ngagel/Jagir	2.15	4.63	4.15	4.87	0.4644	0.5181	0.4415	0.4746

Tabel LB.7 Pengukuran Kecepatan Tanggal 13 Maret 2018

3/13/2018	Jarak A-B (m)	T1 (detik)	T2 (detik)	T3 (detik)	V1 (m/detik)	V2 (m/detik)	V3 (m/detik)	V rata- rata (m/detik)
Karangpilang	2.39	5.4	5.3	5.3	0.4426	0.4509	0.4509	0.4482
Sepanjang	3.01	5.3	4.9	4.7	0.5679	0.6143	0.6404	0.6075
Gunungsari	2.3	3.8	4.1	4.8	0.6053	0.5610	0.4792	0.5485
Ngagel/Jagir	2.15	4.6	4.4	4.6	0.4674	0.4886	0.4674	0.4745

Tabel LB.8 Pengukuran Kecepatan Tanggal 14 Maret 2018

3/14/2018	Jarak A-B (m)	T1 (detik)	T2 (detik)	T3 (detik)	V1 (m/detik)	V2 (m/detik)	V3 (m/detik)	V rata- rata (m/detik)
Karangpilang	2.39	3.12	3.82	3.9	0.7660	0.6257	0.6128	0.6682
Sepanjang	3.01	4.08	4.1	4.98	0.7377	0.7341	0.6044	0.6921
Gunungsari	2.3	4.79	4.6	4.21	0.4802	0.5000	0.5463	0.5088
Ngagel/Jagir	2.15	4.72	4.97	4.31	0.4555	0.4326	0.4988	0.4623

Tabel LB.9 Pengukuran Debit Titik Karangpilang

Tanggal	V (m/detik)	A (m²)	Q (m³/detik)
3/7/2018	0.574	69.385	39.811
3/13/2018	0.448	69.385	31.095
3/14/2018	0.668	69.385	46.361

Tabel LB.10 Pengukuran Debit Titik Sepanjang

Tanggal	V (m/detik)	A (m²)	Q (m³/detik)
3/7/2018	0.537	68.665	36.861
3/13/2018	0.608	68.665	41.717
3/14/2018	0.692	68.665	47.524

Tabel LB. 11 Pengukuran Debit Titik Gunungsari

Tanggal	V (m/detik)	A (m²)	Q (m³/detik)
3/7/2018	0.527	83.030	43.749
3/13/2018	0.548	83.030	45.540
3/14/2018	0.509	83.030	42.248

Tabel LB. 12 Pengukuran Debit Titik Ngagel

Tanggal	V (m/detik)	A (m²)	Q (m³/detik)
3/7/2018	0.475	71.4825	33.928
3/13/2018	0.474	71.4825	33.917
3/14/2018	0.462	71.4825	33.047

Tabel LB.13 Kualitas Air Kali Surabaya

Titik Sampling	Suhu	pH	DO	BOD	COD
	°C		mg/L	mg/L	mg/L
Karang Pilang	28.00	7.82	4.10	2.92	18.00
Sepanjang	28.33	7.92	4.70	3.71	22.00
Gunungsari	28.33	7.90	3.98	1.85	13.33
Ngagel/Jagir	28.67	7.87	3.73	6.79	27.33

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C
MODEL SISTEM DINAMIS

1. Definisi dan Unit Variabel Causal Loop

Tabel LC. 1 Definisi dan Unit Varibel

No.	Variabel	Definisi	Unit
1	BOD	Konsentrasi BOD Kali Surabaya	mg/l
2	COD	Konsentrasi COD Kali Surabaya	mg/l
3	DO	Konsentrasi DO Kali Surabaya	mg/l

2. Hubungan Variabel Diagram Causal Loop

Tabel LC.2 Hubungan Variabel Diagram *Causal Loop*

No.	Variabel Causal	Variabel Impact
1	BOD menurun	DO naik

No.	Variabel Causal	Variabel Impact
2	COD menurun	DO naik
3	DO naik *	BOD turun
4	DO naik *	COD turun

*Berdasarkan Reynolds dan Richards (2016) pada suhu 27°C - 30°C oksigen terlarut jenuh berkisar antara 8,07 mg/L – 7,63 mg/L.

3. Formulasi Model

$$\text{BOD1}(t) = \text{BOD1}(t - dt) + (\text{BOD_Masuk} + \text{Input_BOD1} - \text{BOD_dec1} - \text{BOD_Keluar}) * dt$$

$$\text{INIT BOD1} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{BOD_Masuk} = \text{Co} * \text{Debit_0}$$

$$\text{Input_BOD1} = \text{BOD_sungai} * 10$$

OUTFLOWS:

$$\text{BOD_dec1} = \text{BOD1} * (\text{Kd1} + \text{Ksed1}) * \text{Conversion}$$

$$\text{BOD_Keluar} = (\text{BOD1} * \text{Debit_1}) / \text{dv1}$$

$$\text{COD1_2}(t) = \text{COD1_2}(t - dt) + (\text{COD_Masuk} + \text{Input_COD1_2} - \text{COD_dec1_2} - \text{COD_Keluar}) * dt$$

$$\text{INIT COD1_2} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{COD_Masuk} = \text{Co_2} * \text{Debit_0}$$

$$\text{Input_COD1_2} = \text{COD_sungai_2} * 45$$

OUTFLOWS:

$$\text{COD_dec1_2} =$$

$$\text{COD1_2} * (\text{Kd1_2} + \text{Ksed1_2}) * \text{Conversion}$$

$$\text{COD_Keluar} = (\text{COD1_2} * \text{Debit_1}) / \text{dv1}$$

$$\text{DO1}(t) = \text{DO1}(t - dt) + (\text{DO_Masuk} + \text{Reaeration_1} - \text{Deoksigenation1} - \text{DO_Keluar}) * dt$$

$$\text{INIT DO1} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{DO_Masuk} = \text{Debit_0} * \text{C0}$$

$$\text{Reaeration_1} =$$

$$((\text{Ka1} * \text{Conversion} * 10.9) * (\text{DO_sat1} - \text{DO1}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Deoksigenation1} =$$

$$(\text{BOD1} * (\text{Kd1} + \text{Ksed1}) * \text{Conversion}) + (\text{NBOD} * \text{Debit_1})$$

$0) + \text{SOD1} + (\text{COD1_2} * (\text{Kd1_2} + \text{Ksed1_2}) * \text{Conversion})$
 $\text{DO_Keluar} = (\text{DO1} * \text{Debit_1} / \text{dv1})$
 $\text{BOD_sungai} = 500000$
 $\text{COD_sungai_2} = 400000$
 $\text{Conversion} = 1 / (24 * 60 * 60)$
 $\text{Debit_0} = 39090$
 $\text{Debit_1} = 42030$
 $\text{dv1} = 9814170.493$
 $\text{Ka1} = 0.4660$
 $\text{Kd1} = 1000$
 $\text{Kd1_2} = 300$
 $\text{Ksed1} = 1$
 $\text{Ksed1_2} = 400$
 $\text{NBOD} = 2.28$
 $\text{SOD1} = 5$
 $\text{Suhu} = 28$
 $\text{C0} = \text{GRAPH}(\text{TIME})$
 $(0.00, 3.90), (1.09, 3.90), (2.18, 4.00), (3.27, 2.90), (4.36, 3.75), (5.45, 3.90), (6.55, 4.05), (7.64, 3.30), (8.73, 4.75), (9.82, 4.60), (10.9, 3.60), (12.0, 4.15)$
 $\text{Co} = \text{GRAPH}(\text{TIME})$
 $(0.00, 8.09), (1.09, 6.67), (2.18, 4.06), (3.27, 11.5), (4.36, 3.81), (5.45, 6.66), (6.55, 6.66), (7.64, 4.99), (8.73, 2.69), (9.82, 11.3), (10.9, 3.87), (12.0, 7.67)$
 $\text{Co_2} = \text{GRAPH}(\text{TIME})$
 $(0.00, 25.1), (1.09, 20.6), (2.18, 13.0), (3.27, 41.3), (4.36, 16.0), (5.45, 26.7), (6.55, 28.9), (7.64, 18.5), (8.73, 16.1), (9.82, 46.5), (10.9, 21.4), (12.0, 32.7)$
 $\text{DO_sat1} = \text{GRAPH}(\text{Suhu} * \text{dv1})$

(0.00, 14.6), (1.03, 14.2), (2.07, 13.8), (3.10, 13.5),
 (4.13, 13.1), (5.17, 12.8), (6.20, 12.5), (7.23, 12.2),
 (8.27, 11.9), (9.30, 11.6), (10.3, 11.3), (11.4, 11.1),
 (12.4, 10.8), (13.4, 10.6), (14.5, 10.4), (15.5, 10.2),
 (16.5, 9.95), (17.6, 9.74), (18.6, 9.54), (19.6, 9.35),
 (20.7, 9.17), (21.7, 8.99), (22.7, 8.83), (23.8, 8.68),
 (24.8, 8.53), (25.8, 8.38), (26.9, 8.22), (27.9, 8.07),
 (28.9, 7.92), (30.0, 7.77), (31.0, 7.63)

4. Rumus Perhitungan Yang Digunakan Dalam Model

Aspek Teknis

- a. DO, BOD, COD sungai yang masuk ke segmen di hitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\text{Flow masuk} &= [\text{DO}] \times Q \\ &= \text{mg/l} \times \text{l/det} \\ &= \text{mg/det}\end{aligned}$$

- b. Volume

$$\begin{aligned}V &= Q \times t = Q \times l/v \\ V &= l/\text{det} \times \text{det} = l\end{aligned}$$

Dengan t (det) adalah waktu rata-rata yang diperlukan air untuk mengisi penuh segmen. Dalam hal ini diasumsikan sama dengan waktu yang diperlukan air untuk mencapai ujung segmen yang satu ke segmen yang lain secara horizontal, dengan l adalah jarak antara segmen (m) dan v adalah kecepatan rata-rata air mengalir (m/det). Pertambahan debit diasumsikan menambah kedalaman air.

- c. Reoksigenasi

Reoksigenasi diasumsikan hanya berasal dari reaerasi dari oksigen atmosfer, sehingga pada model ini digunakan rumus reaerasi.

Karena model dibuat dalam satuan massa, maka DO sebagai stock akan memiliki satuan milligram. Untuk itu dalam perhitungan reaerasi, DOSat yang terdahulu dikalikan dengan volume, sehingga untuk memudahkan dan mempersingkat penulisan persamaan matematikanya, sehingga di dapat :

$$\begin{aligned}\text{Reaerasi} &= K_a(\text{DOSat} - \text{DO}) \times \text{faktor konversi} \\ &= 1/\text{hari} \text{ (mg/l} \times \text{ltr} - \text{mg)} \times 1 \\ &\quad \text{hari}/86400\text{det} \\ &= \text{mg/det}\end{aligned}$$

d. Deoksigenasi

Untuk meringkas struktur model, ketiga mekanisme deoksigenasi dijumlahkan dalam satu flow deoksigenasi. Dimana NBOD dan SOD didapat dari perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{NBOD} &= [\text{NH}_3\text{-N}] \times 4,57 \times K_n \\ &= \text{mg/l} \times 4,57 \times 1/\text{hari} \\ &= 4,57 \text{ mg/l.hari}\end{aligned}$$

SOD diasumsikan pada sungai dengan dasarnya mengandung mineral Chapra (1997)

$$\begin{aligned}\text{SOD} &= \text{SOD}_{20} \theta^{T-20} / H \\ &= \text{g/m}^2.\text{hari} / \text{m} \\ &= \text{g/m}^3.\text{hari} \times \text{faktor konversi} \\ &= \text{mg/l.hari}\end{aligned}$$

Nilai kd diasumsikan sama untuk BOD, COD dicari menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}K_{d20} &= 0,3 \times (H/8)^{-0,434} \\ K_d &= K_{d20} \times 1,048^{T-20}\end{aligned}$$

$$\text{BOD decay} = (K_d + K_{sed1}) \times \text{BOD}$$

$$= 1/\text{hari} \times \text{mg}$$

$$= \text{mg/hari}$$

$$\text{COD decay} = (K_d + K_{sed2}) \times \text{COD}$$

$$= 1/\text{hari} \times \text{mg}$$

$$= \text{mg/hari}$$

$$\text{Deoksigenasi} = \text{BOD decay} + \text{COD decay} + (\text{NBOD} + \text{SOD}/H) \times V$$

$$= (\text{mg/hari} + \text{mg/hari}) \times \text{faktor konversi} + (\text{mg/ltr.hari} + \text{mg/ltr.hari}) \times \text{ltr} \times \text{faktor konversi}$$

$$= \text{mg/det}$$

e. Transfer Massa

DO, BOD, COD yang mengalir ke segmen selanjutnya dihitung berdasarkan :

$$\text{Flow} = \text{DO (BOD atau COD)} \times Q / V$$

$$= \text{mg} \times \text{ltr/det} / \text{ltr}$$

$$= \text{mg/det}$$

- f. DO, BOD, COD masuk yang satuannya disamakan dengan total potensi beban pencemar yang masuk dalam mg/det.

LAMPIRAN D
Perhitungan IP

Tabel LD.1 Pengukuran Indeks Pencemar Karangpilang

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
DO (mg/Lt)	4.2	4	0.23	-2.16	0.23
COD (mg/Lt)	25.01	25	1.0004	1.00	1.00
BOD (mg/Lt)	5.7	3	1.90	2.39	2.39
Ci/Lij max					2.39
Ci/Lij rata2					1.21
IP					1.90

Tabel LD.2 Pengukuran Indeks Pencemar Sepanjang

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
DO (mg/Lt)	4.27	4	0.23	-2.22	0.23

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
COD (mg/Lt)	23.95	25	0.958	0.91	0.96
BOD (mg/Lt)	5.25	3	1.75	2.22	2.22
Ci/Lij max					2.22
Ci/Lij rata2					1.13
IP					1.76

Tabel LD.3 Pengukuran Indeks Pencemar Gunungsari

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
DO (mg/Lt)	4.3	4	0.23	2.24	0.23
COD (mg/Lt)	22.47	25	0.8988	0.77	0.90
BOD (mg/Lt)	4.85	3	1.62	2.04	2.04
Ci/Lij max					2.04

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
Ci/Lij rata2					1.06
IP					1.63

Tabel LD.4 Pengukuran Indeks Pencemar Ngagel

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij >1	Ci/Lij baru
DO (mg/Lt)	4.28	4	0.23	-2.22	0.23
COD (mg/Lt)	25.913	25	1.03652	1.08	1.08
BOD (mg/Lt)	5.88	3	1.96	2.46	2.46
Ci/Lij max					2.46
Ci/Lij rata2					1.26
IP					1.95

LAMPIRAN E
DOKUMENTASI



Gambar LE.1 Kondisi Tempat Sampling



Gambar LE.2 Memasukkan Alat Sampling ke Sungai



Gambar LE.3 Mengambil Sampel Air Sungai



Gambar LE.4 Pengawetan Sampel dengan Larutan Kimia



Gambar LE.5 Pengukuran dengan Alat Meter Digital



Gambar LE.6 Penukuran Kedalaman dengan *Ecosounder*



Gambar LE.7 Analisa Laboratorium

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Febriandita Ashari Putri lahir di Salatiga, 13 Februari 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kutowinangun 4 Salatiga, SMP Negeri 1 Salatiga, dan SMA Negeri 1 Salatiga. Pada Tahun 2014, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama perkuliahan,

penulis aktif dalam berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL). Penulis pernah aktif sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat HMTL periode 2015/2016 serta berkesempatan menjadi asisten laboratorium mata kuliah Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan. Pelatihan yang pernah diikuti adalah pelatihan LKMM Pra-TD, LKMM TD, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Dasar, House of Leadership (HOLE) TL, Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (SMK3). Berbagai kepanitiaan juga diikuti oleh penulis, seperti panitia Kampung Mandiri dan Unggul (Kamandanu), panitia Kampung Mitra (Kamit) dll. Penulis memiliki kesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd, Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Penulis dapat dihubungi via email febriandita97@gmail.com

